

33
2070

RECEIVED
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
MEXICO, D.F.
1934



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL CONCRETO EN BOQUILLA DE P. H. DE ZIMAPAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
ERNESTO CUSTODIO RAMIREZ

ASESOR: ING. GILBERTO HERNANDEZ GOMEZ

FACULTAD DE INGENIERIA



UNAM MEXICO, D. F.

1934

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-010/93

Señor:
CUSTODIO RAMIREZ ERNESTO.
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Gilberto Hernández Gómez, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"EL CONCRETO EN BOQUILLA DE P. H. DE ZIMAPAN"

- I.- INTRODUCCION
- II.- CORTINA
- III.- GALERIAS
- IV.- TRATAMIENTOS EN LADERAS
- V.- CONCLUSIONES

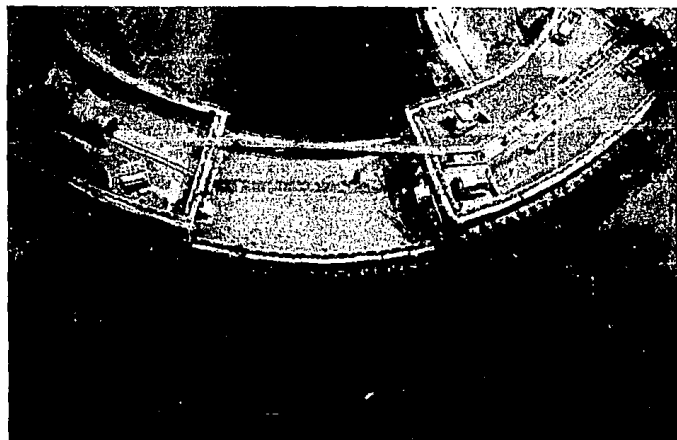
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 18 de enero de 1993.
EL DIRECTOR.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

Al. JMCS/RCR*nll





ÍNDICE

Pág.

Agradecimientos.....	i
-----------------------------	----------

Capítulo I . INTRODUCCIÓN.

Objetivos	1
Concreto (Definición).....	1
Agregados Gruesos	2
Agregado Fino	4
Equipo de Trituración.....	7
Tipos de Cemento	10
Aditivos	13
Agua	16
Características principales del concreto.....	16
Ensayos, Controles y Pruebas.....	18

Capítulo II . CORTINA.

Cimentación en Roca de la cortina	20
Cimbra	24
Traslado del concreto.....	25
Colocación del concreto	26

Vibrado.....	27
Curado	28
Post-Enfriamiento.....	29
Juntas de contracción.....	35
Inyección	36
Resistencia de Proyección y Requerida	37
Especímenes de Prueba.....	38
Plan de Muestreo y Pruebas.....	40

Capítulo III . GALERÍAS.

Galerías de Inspección.....	43
Galerías de Inyección.....	45
Galerías de Estabilización.....	47

Capítulo IV . TRATAMIENTO DE LADERAS.

Zonificación del Tratamiento.....	55
Características de las anclas.....	64
Procedimiento Constructivo	69

Capítulo V . CONCLUSIONES.

Conclusiones	74
--------------------	----

Bibliografía.....	76
--------------------------	-----------

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

A la Comisión Nacional de Electricidad.

A DIRAC, S.A. de C.V.

A mi madre:

Porque desde recién nacido me dió todo, sin importarle si a ella le faltaba algo.

A mi padre:

Porque con su apoyo y cariño he logrado lo que hasta hoy me he propuesto.

A mi hermano Guillermo:

Fuiste el guía de mi vida y el ejemplo que siempre he de seguir.
Te llevo en mi mente y en mi corazón.
No te olvido.

A mis hermanos:

René Custodio Ramírez.
Alejandro Custodio Ramírez
Adriana Custodio Ramírez.
Herlinda Custodio Ramírez.
Verónica Custodio Ramírez.

A mis cuñados:

Patricia Galván Ramírez.
Juanita Linares Altamirano.
Rocío Cabrera Ruíz.
José Luis Pérez Argudin.

A mis queridos sobrinos:

Luis Guillermo Custodio Linares.

Tonatiuh Custodio Galván.

Zeltzin Custodio Galván.

Iván Alberto Custodio Cabrera.

Daniel Alejandro Custodio Cabrera.

José Luis Pérez Custodio.

A mis compañeros y amigos porque ellos me brindaron su apoyo y amistad para salir adelante en la carrera.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Objetivos.

- 1.1 Describir y analizar los diferentes usos que se le dan al concreto en la zona de boquilla del P.H. Zimapán, así como los cuidados que se deben tener en el uso del mismo.
- 1.2 Dar a conocer desde el punto de vista de supervisión, las actividades que se desarrollan en un proyecto poco común en nuestro país, como lo es la cortina de concreto de sección de arco-Bóveda del P.H. Zimapán.

CONCRETO

El concreto está formado por los siguientes elementos:

Agregado Grueso, Agregado Fino, Agua, Cemento y Aditivos en ocasiones.

Las dosificaciones del concreto tienen por objeto asegurar un concreto plástico, trabajable y apropiado para las condiciones específicas de colocación y un producto que al ser adecuadamente curado, tenga resistencia, durabilidad, impermeabilidad y alta densidad de acuerdo con los requisitos de las estructuras que conforman las obras civiles.

MATERIALES

AGREGADOS GRUESOS

El término "agregados gruesos" se refiere a aquella parte de los agregados con dimensión mínima 3/16" (4.8 mm) y con dimensión máxima variable entre 3/4" (19 mm) y 3" (76.2 mm) según lo requerido por las diferentes clases de concreto.

El agregado grueso no debe contener cantidades dañinas de arcilla, limo, alcalis, mica, materiales orgánico u otras sustancias perjudiciales.

El porcentaje de sustancias dañinas en los materiales que salen de la planta de dosificación no deben superar los siguientes límites:

	% en peso
Material que pasa por la malla # 200	1.0
Materiales ligeros	1.0
Grumos de arcilla	0.5
Otras sustancias dañinas (como el limo, alcalis, etc.)	0.5

Los agregados gruesos no son aceptados si no poseen los siguientes requisitos:

Prueba de abrasión tipo Los Angeles:

- Si la pérdida, usando la graduación estándar (tipo A) supera el 10% en peso, para 100 revoluciones o supera el 40% en peso para 500 revoluciones.

Resistencia a la reacción del sulfato de sodio:

- Si la pérdida media en peso, después de 5 ciclos supera el 10%.

PESO ESPECÍFICO:

- Si el peso específico del material (en estado de saturación con superficie seca) es inferior a 2.5 gr/cm³.

El agregado grueso deberá estar bien graduado entre los límites fino y grueso en forma separada, en tamaños nominales cuyas granulometrías se indican a continuación:

MALLA CUADRADA A S T M ESTANDAR (PULGADAS)	DIMENSION DE LA MALLA (mm)	TAMAÑOS NOMINALES & EN PESO QUE PASA POR MALLAS INDIVIDUALES		
		# 4	3/4"	1.5"
		3/4"	1.5	3"
4"	102	-	-	100
3"	76	-	-	90-100
2"	51	-	-	25-60
1.5"	38	-	90-100	0-15
1"	25	100	25-55	0-5
3/4"	19	90-100	0-15	-
3/8"	9.5	20-55	0-5	-
No. 4	4.8	0-10	-	-
No. 8	2.36	0-5	-	-

AGREGADO FINO

El término "Agregado Fino (Arena)" es usado para indicar la parte del agregado que tiene la dimensión máxima de 3/16" (4.8 mm).

El agregado fino consiste de arena natural de yacimientos o de arena producida artificialmente. La arena tiene que estar constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables, libres de materia orgánica y otras sustancias. Para los concretos del área de la boquilla se utilizan únicamente agregados triturados de la cantera de roca caliza denominada Yedhay, ubicada a 4 Km de ella.

La forma de las partículas debe ser la más posible esférica o cúbica y sin o con cantidad muy reducida de partículas delgadas, planas o alargadas. En producción artificial del agregado fino, no se aprueba el uso de roca que se quiebre en partículas delgadas, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

El agregado fino debe cumplir con las prescripciones siguientes: la arena no debe contener arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias no debe exceder los valores siguientes:

	% peso
Material que pasa por la malla no. 200	3.0
Materiales ligeros	2.0
Grumos de arcilla	2.0
Total de otras sustancias (mica, álcali, limo, etc)	2.0

La arena no es aceptada si además se encuentran las siguientes características:

- Si tiene impurezas orgánicas.
- Si tiene un peso específico en estado saturado con superficie seca, inferior a 250 gr/cm^3 .
- Si cuando es sometida a 5 ciclos de prueba de resistencia a la acción de sulfato, la fracción retenida por la malla # 50 ha tenido una pérdida mayor del 10% en peso.
- El agregado fino debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso, con la granulometría siguiente:

MALLA ASTM ESTANDAR	DIMENSION DE LA MALLA	% POR PESO QUE PASA
3/8"	9.5	100
# 4	4.8	95-100
# 8	2.4	80-100
# 16	1.2	50-85
# 30	0.6	25-60
# 50	0.3	10-30
# 100	0.155	2-10

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino, debe tener un módulo de finura entre 2.5 y 3.1. El módulo de finura se determina dividiendo por 100 la suma de los porcentajes acumulados que pasan en las mallas 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

PROCESO DE OBTENCION, TRITURACION Y LAVADO

La materia prima para la producción de agregados petreos se obtiene de bancos de roca o de yacimientos de agregados naturales de río o de depósitos de aluvión, conglomerados, etc., fundamentalmente. En mucha menor proporción de escorias de alto horno, así como de productos sintéticos provenientes de la cocción de horno rotatorio de materiales sílico aluminosos.

Para la extracción y preparación de los agregados son los factores de dureza y de grado de abrasividad los que importan principalmente para la selección del equipo.

La extracción puede realizarse manualmente, por medios mecánicos y por explosivos, siendo esta última la más utilizada.

Al utilizar los explosivos, se dislocan los bancos de roca y se obtiene una fragmentación en bloques de un tamaño tal, que se permite su manejo con los medios de carga y de transporte disponibles, así como su entrada a la boca de la quebradora primaria.

En muchas ocasiones, a pesar de las precauciones tomadas en las tronadas masivas de los bancos de roca un porcentaje medio del 20% al 30% de bloques, son demasiado grandes para manejarse con los medios con los que se dispone.

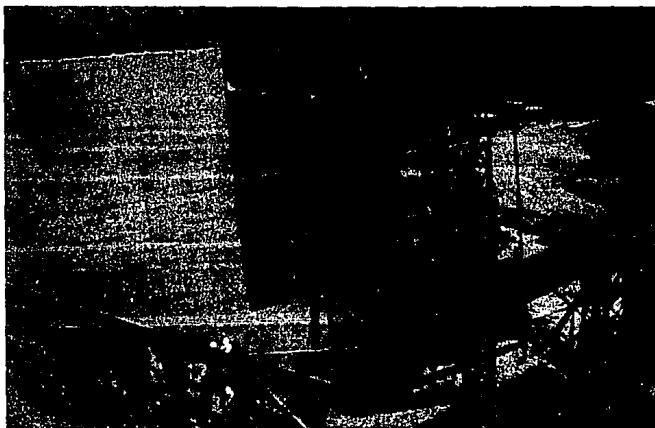
Es necesario una reducción secundaria de dichos bloques por medio de dinamita (barrenación secundaria o plastas), o por medios mecánicos (pilon o drop-ball). La carga se realiza por cargadores frontales sobre neumáticos o sobre orugas y por palas mecánicas y el transporte a la planta de trituración, por camiones de diversas capacidades. En caso de acarreo relativamente cortos, el cargador frontal sobre neumáticos, puede satisfactoriamente realizar la operación de transporte a la planta de trituración.

EQUIPO DE TRITURACIÓN

- 1.- Trituradoras primarias (quijadas y giratorias).
- 2.- Trituradoras secundarias (de cono, rodillos, martillos e impacto).
- 3.- Trituradoras terciarias (de cono, rodillos, martillos e impacto).
- 4.- Molinos (de barras y bolas para finos).

Equipo complementario

- 5.- Cribas vibratorias (horizontales e inclinadas).
- 6.- Alimentadores (de delantal, de plato o reciprocantes, vibratorios).
- 7.- Gusanos Lavadores.
- 8.- Bandas Transportadoras.
- 9.- Elevadores de Cangilones.



Cribado.- Es el proceso en el cual seleccionamos el tamaño adecuado del agregado. Este se logra en función de las mallas con las que se cuenta.

Lavado.- El lavado se efectúa para separar los limos, arcillas y exceso de arena producto de la trituración.

Las características principales para lograr un agregado sano son las siguientes:

a) **Limpieza de partículas extrañas.-** El agregado sucio altera la resistencia del concreto.

b) **Resistencia del agregado.-** La roca donde se obtiene el agregado debe ser sana y adecuada.

c) **Textura y Estructura.-** El agregado debe ser ánguloso para tener una mayor adherencia.

- d) Forma de Partícula.- La forma debe ser irregular y rugosa.
- e) Porosidad.- El agregado no debe ser poroso pues de otro modo absorberá demasiado cemento y agua, y tendrá menor peso volumétrico.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El correcto manejo de los agregados nos conducirá a una buena mezcla; esto se logra de la siguiente manera:

- 1) Construcción de un adecuado patio de agregados donde por medio de barreras separemos los diferentes tamaños.
- 2) Evitar la contaminación de partículas extrañas tales como: lodo, agua y escombros de la propia obra.
- 3) Los agregados se deben manejar con el equipo adecuado, siendo este el cargador frontal montado sobre neumáticos.

CEMENTO PORTLAND

El nombre de Cemento Portland fue concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y una caliza obtenida en la cantera de Portland, Inglaterra.

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le

dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar una roca artificial.

El Cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer en virtud de que experimenta una reacción química con el agua, es por esto la denominación de cemento hidráulico.

El cemento es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del Clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además, como auxiliares en la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.

El Clinker es un mineral sintético granular resultante de la cocción a una temperatura del orden de 1400°C, de materias primas de naturaleza calcárea y arcilla feruginosa previamente trituradas, mezcladas, pulverizadas y homogenizadas. Esencialmente el Clinker esta constituido por silicatos aluminio y aluminoferrito cálcicos.

TIPOS DE CEMENTO

- Tipo I. Común.- Para uso general en construcciones de concreto, se usa donde el concreto o el cemento no están sujetos al ataque de factores específicos, como a los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado en la hidratación. Entre sus usos incluyen pavimentos y aceras, edificios de concreto reforzado, puentes estructuras para ferrocarriles, tanques y depósitos alcantarillas, tuberías para agua, mamposteo, etc.

- Tipo II. Modificado.- Destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada, como las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfato en las aguas subterráneas sean algo más elevadas que lo normal, pero no muy graves.

Si se especifica el calor máximo de hidratación para el cemento, puede usarse este tipo de cemento en las estructuras de gran masa como en las grandes pilas, estribos gruesos y en los muros de contención gruesos. Con su uso, se disminuye al mínimo la elevación de la temperatura, lo que es especialmente importante cuando el concreto se cuele en climas cálidos.

- Tipo III. De Rápida Resistencia.- Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad. Se usa cuando se tiene que retirar la cimbra o moldes lo más pronto que sea posible, o cuando la estructura se deba poner en servicio rápidamente. En tiempo frío, su uso permite reducir el período de curado controlado.

- Tipo IV. De Bajo Calor.- Cuando se requiera un reducido calor de hidratación. Sus propiedades son las necesarias para usarse en estructuras de concreto de gran masa, como las grandes presas de gravedad, donde la elevación producida en la temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico.

- Tipo V. De Alta Resistencia a los Sulfatos.- Cuando se requiera una alta resistencia a la acción de los sulfatos es decir, principalmente donde los suelos o el agua subterránea tenga una concentración elevada de sulfatos.

Para todos los concretos de la cortina y estructuras masivas relativas donde el requisito fundamental es lograr un bajo calor de hidratación, se usa Cemento Portland Puzolana IP.

Para estructuras no masivas ordinarias se emplea cemento tipo II de bajos alcalis.

Para inyecciones particulares donde se requiere un alto grado de penetración de la lechada, el cemento debe tener una superficie específica Blaine no inferior de $4500 \text{ cm}^2/\text{gr}$.

La temperatura del cemento al momento de su empleo no debe exceder de 35 grados centígrados.

El consorcio Zimapan propuso usar el Cemento Portlan Puzolánico Cruz Azul, fabricado con Clinker bajos en álcalis (0.45% max. como Na_2O). Y aunque en general este es el cemento que se ha utilizado en la cortina y en las diferentes obras de esta zona también se ha utilizado el similar Puzolánico de Lagunas Oax., y el tipo II, bajo en álcalis (45% max. como Na_2O), procedente de Orizaba.

El Consorcio Zimapan manifestó su interés para generalizar el uso del cemento puzolánico bajo en álcalis de Cruz Azul, I Hgo. en la fabricación de sus concretos.

ADITIVOS

Un aditivo es un material distinto del agua, agregados y cemento que se usa como ingrediente en concretos y se agrega a la mezcla antes o durante el mezclado que no es indispensable en el concreto, modifica las características físicas y químicas.

Los aditivos pueden ser usados para modificar las propiedades del concreto en tal forma que lo haga más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía.

Los aditivos se utilizan para los siguientes fines:

- Aumentar la resistencia.
- Acelerar o retardar el fraguado inicial.
- Reducir la permeabilidad a los líquidos (impermeabilizador).
- Mejorar las condiciones de bombeo.
- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y concreto nuevo.
- Para resanes y reparaciones de concretos mal trabajados.
- Para lograr concretos con color.

GRUPOS DE ADITIVOS

a) Reductores de Agua.- Son fabricados a base de productos químicos solubles en agua y su objeto es reducir la cantidad de agua en el concreto modificando la velocidad de fraguado así como su consistencia.

Estos tipos de aditivos son muy útiles en concretos que van a ser colocados en secciones de mucho refuerzo o bajo el agua.

b) Aditivos Acelerantes.- Son aquellos que sirven para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia de concreto. Algunas de sus aplicaciones son: acelerar los programas de obra, colados más rápidos con menos juegos de cimbra, se utilizan en colados de muros que van a estar sujetos a presiones hidrostática grandes para que alcancen su resistencia lo más pronto posible, en colados donde se utilice cimbra deslizante.

c) Aditivos Minerales.- Este tipo de aditivos son principalmente calizas, ventonita, cal hidratada y talcos. Su principal función es la de mejorar las características del concreto, aumentando la resistencia a los sulfatos, logrando con esto reducción en la permeabilidad y la generación de calor.

d) Aditivos Incluidores de Aire.- Es un aditivo que se le agrega a la mezcla que origina aire en el concreto en forma de pequeñísimas burbujas, logrando con esto mayor manejabilidad y resistencia al congelamiento, pues estas burbujas guardan calor y forman una estructura de molécula que impide el agrietamiento.

e) Aditivos para Adherencia.- Son aditivos líquidos, orgánicos y su utilidad es para lograr concreto de diferentes edades, principalmente en superficies extensas.

f) Aditivos Retardantes.- Tienen como objeto retardar el fraguado inicial sin modificar sus condiciones y se utilizan en estructuras donde el concreto se debe colocar en forma lenta.

g) Aditivos Colorantes.- Son pigmentos naturales o sintéticos que le darán color al concreto sin modificar las propiedades de la mezcla.

h) Aditivos para Resistir la Humedad.- Actúan como impermeabilizantes y son utilizados en muros de contención, presas, tanque de agua, etc.

i) Aditivos Fluidizantes.- Son aditivos que hacen que el concreto sea más fluido y por lo tanto, fácil su colocación.

En Concreto convencional se utilizan dos aditivos, el Pozzoloth 322-R y el MBVR: este último para favorecer la trabajabilidad, buscando contrarrestar los problemas que plantea el bombeo. Para los concretos lanzados se utiliza el QP-500; la calidad de cada lote de este producto se verifica en obra y en GIEC se verifica la calidad de los otros aditivos.

AGUA

El agua empleada en la mezcla y curado del concreto, no debe contener residuos de aceites, ácidos, álcalis, sales, limos materia orgánica y otras sustancias dañinas y exenta de lodo, arcilla y algas.

Se puede utilizar el agua del río San Juan a condición de que cumpla con los requisitos de las especificaciones de C:F:E: que a continuación se mencionan:

- Bicarbonatos + Carbonatos	600 ppm max
- Cloruros	600 ppm max
- Sulfatos	1000 ppm max
- Oxígeno en medio ácido	20 ppm max
- Turbides (sólidos disueltos)	2000 ppm max
- Ph	6 mínimo

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO

1.- UNIFORMIDAD. Considerando que el concreto es un material heterogéneo que se produce mezclando diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme de buena cohesión y no segregable. Para que esto ocurra se requiere conjugar dos condiciones indispensables:

- Que la mezcla este correctamente diseñada y con la consistencia adecuada a las condiciones de ejecución de la obra.

- Que se utilicen equipos y procedimientos de elaboración y colocación adecuados.

2.- TRABAJABILIDAD. Podemos definir el término "trabajabilidad" de un concreto como la facilidad que presenta para ser transportado, colocado y compactado en el molde. Es importante hacer notar que esta trabajabilidad es relativa: un concreto trabajable para una columna.

3.- SEGREGACION Y SANGRADO. Se conoce como segregación a la separación de los elementos que forman la mezcla, de modo que su distribución deje de ser. En el concreto se presenta debido a la diferencia del tamaño de las partículas y a la densidad de los componentes.

El sangrado es una forma de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colado o fluir por las rendijas de la cimbra.

4.- FRAGUADO. Se entiende por fraguado al cambio de un fluido al estado rígido. En concreto se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos:

Fraguado Inicial y Fraguado Final. Se dice que el concreto alcanza su fraguado inicial cuando su resistencia a la penetración es de 35 Kg/cm^2 ; el fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de 280 Kg/cm^2 .

SE TIENEN LOS SIGUIENTES TIPOS DE CONCRETOS:

TIPO	ESPEJOR DEL ELEMENTO A COLAR, cm	TEMPERATURA EN PLANTA	TEMPERATURA MAXIMA DE COLOCACION
Masivo	> 100	12	16
Semimasivo	60-100	20	23
Normal	< 60	26	29

ENSAYOS CONTROLES Y PRUEBAS

- Control de calidad de los materiales (agua, cemento, agregados, aditivos, etc.)
- Determinación de los proporcionamientos de las mezclas de concreto y mortero.
- Control de calidad del concreto ya colado.
- Preparación de muestras de concreto y otros materiales para su envío a laboratorios fuera de la obra cuando fuese necesario.

CAPÍTULO II

CORTINA

La cortina del proyecto Hidroeléctrico Zimapán, debido a la orografía de la zona fue diseñada en forma de Arco-Bóveda y está localizada en el cañón de Infiernillo en el río Moctezuma, que es la frontera que divide a los estados de Querétaro e Hidalgo.

Tiene una altura total de 203 metros y un ancho en la corona de 75 metros lineales, es decir, sin tomar en cuenta la curvatura de la cortina. Debido al diseño, la cortina se concibe en 5 bloques de concreto simple, es decir, sin refuerzo de acero en casi todo su cuerpo, únicamente lleva refuerzo en las galerías que atraviesan de margen izquierda a margen derecha pero no por esto se puede decir que la cortina sea de concreto reforzado, ya que lo que recibe los esfuerzos es el concreto. Tres de los cinco bloques parten desde el lecho del río en la elevación 1362, los otros dos parten: uno de la elevación 1517 y el otro de la elevación 1535, esto debido también a la estratigrafía de la roca, ya que estos dos últimos bloques se construyeron antes, debido a que sirven como estabilización de la parte superior de la margen izquierda, la inestabilidad es producto de la liberación de esfuerzos inducidos por la excavación de las laderas.

CIMENTACION EN ROCA DE LA CORTINA.

Antes de instalar las cimbras para confinar el concreto todas las superficies de cimentación de la cortina deben ser preparadas con sumo cuidado con el fin de asegurar el mejor contacto entre la roca y el concreto..

El primer trabajo consiste en remover las protecciones provisionales del puluino y las barreras horizontales, luego se remueve una capa de roca de aproximadamente 5 cm por medio de picadores manuales livianos para reavivar la cimentación antes del colado. Durante esta operación son removidas, además todos los eventuales bloques de roca sueltos y no suficientemente firmes que se encuentren más allá de la capa de 5 cm antes mencionada.

Las fallas, fisuras y grietas en la roca son limpiados con demoleedores y chorros de agua a presión no inferior de 30 Kg/cm².

Toda el agua que fluye sobre la superficie de cimentación es desviada por medio de drenes y tuberías hacia los carcamos o desalojada con otros métodos como son bombas para evitar el deslave del concreto fresco colado.

Antes de colocar el concreto todas las superficies deben ser limpiadas con aire y agua a alta presión a fin de asegurar que las superficies en las que se coloque el concreto, estén limpias, libres de aceite, lodo, material de recubrimiento, escombros, fragmentos sueltos, etc.

Para poder colar las superficies de contacto deben presentarse húmedas y por tanto se deben mojar cuando fuese necesario. Por otra parte, cuando se removió la rezaga producto de la excavación en las laderas se descubrieron estratos de arcilla, con un espesor que va desde los 3 cm hasta 10 cm, dichos estratos se tienen que tratar antes de colar los bloques que tienen contacto con las laderas (bloques 1 y 3). dicho tratamiento consiste de la siguiente manera:

1) En el ancho del apoyo de la cortina y 10 m después de ambos parámetros se hacen barrenos de 1 1/2" a cada 30 cm con una profundidad de 1 m.

2) Por cada barreno se mete agua y aire a presión, lo anterior tiene el objeto de retirar en su totalidad la arcilla que se encuentra en dicho estrato.

3) Una vez que no se tiene rastros de arcilla se procede a sacar el agua que quedó atrapada en el estrato, esto se realiza con aire a presión.

4) Se procede a calafatear el estrato dejando boquillas con válvula de paso a cada 2 metros, dejando secar el calafateado por lo menos 8 Hrs.

5) Se realiza la inyección del estrato con lechada con una relación agua cemento de 0.5/1.

La inyección se realiza de la parte más baja del estrato hacia la parte más alta .

La inyección se para cuando se ha alcanzado a mantener durante 3 minutos una presión de 2 Kg/cm² y sin tener casi consumo (2 lt/min).

6) Después de haber inyectado el estrato se procede a realizar un barreno de 4" de diámetro y 15 m de profundidad siguiendo la misma inclinación que lleva el estrato, para posteriormente rimarlo a 6" y 10" de diámetro.

Realizado lo anterior se procede a lavar el barreno y secado del mismo.

7) Se procede a calafatear dejando una boquilla de 3" de diámetro para inyección y una de 1 1/2" de diámetro para purga de aire y agua.

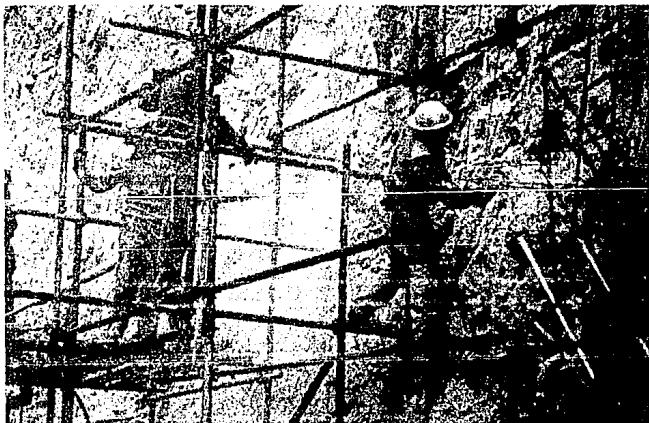
8) Se procede a la inyección del barreno con mortero, con la siguiente dosificación:

1 bulto de Cemento	50 kg
Arena	20 Kg
Agua	25 Kg = 25 lts.

Es decir, con relación agua-cemento 0.5 y relación arena-cemento de 0.4.

9) Una vez que por la manguera de purga sale el mortero se cierra la válvula de dicha manguera y se procede a inyectar lechada con las mismas características de la que se inyectó en el estrato, de igual forma se suspende la inyección al mantener una presión de 2 Kg/cm^2 y tener consumo casi nulo (2 lt/min).

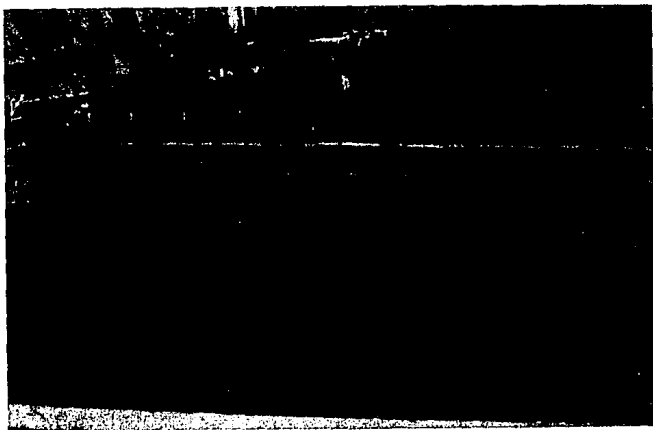
Es esta la forma en la que se deben tratar los estratos que se encuentren dentro de las alzadas a colar antes de iniciar un colado de los bloque 1 ó 3, que son los que tienen contacto con las laderas. Lo anterior tiene como objetivo el eliminar presiones que pudiera ocasionar el agua al introducir por dichos estratos si no se les diera ningún tipo de tratamiento y que pudiese poner en peligro la estabilidad de la cortina.



CIMBRA

En el caso de la cortina se viene utilizando cimbras metálicas de autosoporte que consta básicamente de dos partes, una fija y una móvil. La parte fija se sujeta al colado anterior por medio de un cono metálico que de deja ahogado, y forma parte de la misma cimbra. Esta parte sirve de apoyo de la otra y consta de tres componentes metálicos formando un triángulo siendo este el que recibe todos los esfuerzos transmitidos por el componente que está en contacto con el concreto.

El segundo componente de que está constituida la cimbra es la parte móvil que es la que le da la verticalidad y el grado de inclinación que va a tener la estructura a colar, que en este caso es la cortina. Los dos elementos que le dan la movilidad a la cimbra son un gato hidráulico dándole movimiento giratorio con respecto al eje X, y un perno con rosca que le da la posibilidad de girar con respecto al eje Y.



Dicha cimbra se coloca por medio de una grúa GROVE, que se ubica de forma tal, que con su giro y la extensión de sus brazo telescópico alcance a colocar el perímetro de la alzada del bloque que se pretende colar. Además de la grúa se requiere de personal especializado. Asi como de una brigada de topografía, que son los que intervienen de forma directa para la perfecta colocación de dicha cimbra, ya que por su parte la supervisión checa que la cortina vaya tomando la forma con la cual fue diseñada por medio de una brigada topográfica y es la supervisión la que aprueba o no la realización del colado si la cimbra está colocada conforme lo indica el proyecto.

Una vez colocada la cimbra se le aplica aceite quemado o Diesel para que cuando llegue el momento de descimbrar la superficie de contacto no se averie y tenga un mayor tiempo útil la cimbra, además de ser más fácil esta maniobra con dicha aplicación.

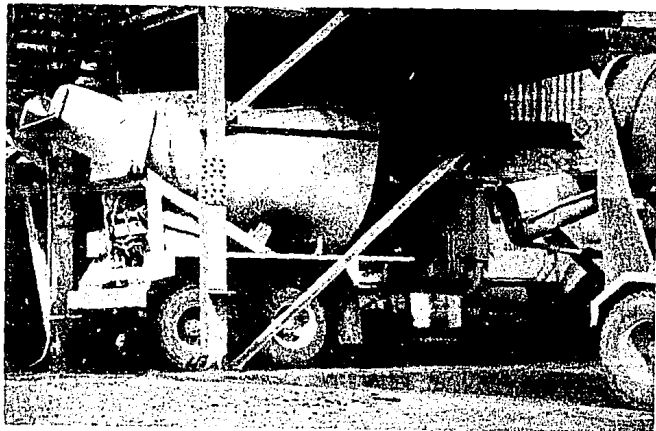
TRASLADO DEL CONCRETO

Cuando el concreto se ha fabricado se deposita en volquetas con una capacidad de 6 m³, para que estas lo trasladen desde la planta de concreto "Yethay" que se encuentra a 2.0 Km aproximadamente de la boquilla en donde se va ha depositar en la bacha que va a depositar el concreto en el bloque que se va a colar. Debido a las características del concreto que son 4 ± 2 de revenimiento y T.M.A. 3" el traslado del concreto no debía rebasar las siguientes tiempos o plazos:

1.- 30 minutos referidos al momento de la descarga de la revoladora, cuando el transporte se efectuó sin empleo de medios agitadores, como es el caso de el transporte del concreto para la cortina.

2.- 45 minutos referidos al momento que el cemento es añadido a los agregados, cuando se emplea la agitación durante el transporte y mientras se cuele el concreto.

Si se emplea algún aditivo retardante de fraguado, que es el caso de este concreto, las tolerancias arriba indicadas pueden incrementarse 15 minutos como máximo.



COLOCACION DE CONCRETO

Al llegar a la boquilla el concreto se deposita en una bacha con descarga de fondo que es transportada por una grúa STAC que esta empotrada en la margen izquierda, con una capacidad de 20 toneladas en la punta, que puede llegar a todos los bloques debido a sus dimensiones y a la posibilidad de girar 90°, siendo estos suficientes para lograr los trabajos del colado en la cortina. Una vez que la bacha deposita el concreto en la cortina, este es extendido por medio de un tractor caterpillar D5; esto es posible debido que el concreto es de bajo revenimiento (4 ± 2 cm), tratándose casi como terracería.

El colado se va desarrollando y formando capas de 40 cm hasta llegar a la totalidad de cada alzada que es de 3 metros.

Adicionalmente tiene otra especificación que se debe cumplir a la hora de colocar el concreto que es la temperatura. La temperatura cuando se coloca el concreto no debe rebasar los 16°C, debido a esta especificación se realiza lo siguiente.

- Protección con aislante en las tuberías del agua a emplearse en agregados y concreto.

- Roció de depósitos de agregados de la planta procesadora primaria con agua del sitio que tenga la mínima temperatura.

- Empleo en la mezcla agua enfriada a 2°C.

Adicionalmente la planta productora de concreto cuenta con un sistema de suministro de hielo triturado en pequeños trozos para ser incorporado a las mezclas de concreto, con el fin de enfriarlas y cumplir con la temperatura establecida. el hielo es aplicado en substitución de una parte del agua (hasta un máximo del 75%) de mezclado, en la proporción que resulte necesaria y dosificandose por peso. El mezclado de concreto debe prolongarse lo suficiente para permitir que se funda todo el hielo incorporado y evitar el sangrado del concreto ya colado.

VIBRADO

La vibración o consolidación del concreto es realizado por medio de vibradores de inmersión accionados neumáticamente. Los vibradores para el uso de la cortina tienen un diámetro de 8" para el cuerpo de la cortina y para las fronteras con la cimbra, es decir cerca de los parámetros y las juntas con los demás bloque deben ser de 4" de diámetro, los vibradores para el cuerpo de la cortina están acoplados a un cargador sobre orugas, esto facilita este

trabajo, garantizando la eficacia de dicha actividad. En el vibrado de cada capa de concreto, el vibrador debe operar en forma vertical y la inmersión de los vibradores debe ser tal que permita penetrar hasta aproximadamente 20 cm en la capa inferior del concreto fresco. La penetración en el concreto debe ser lentamente y por la acción de su propio peso en el caso de que el vibrador operado por el personal y la forma de retirarlo debe ser igualmente lenta para evitar la formación de cavidades. La vibración debe ser espaciada de tal forma que se garantice que no quede ninguna parte del concreto sin vibrar, dichos espacios eran de aproximadamente 1 metro entre línea y línea de vibrado.



CURADO

El curado tiene por objeto el evitar que el concreto sufra pérdidas de humedad durante su madurez y que por pérdida de agua se produzcan grietas u otros daños por cambios bruscos de temperatura.

El concreto de la cortina se cura por humedecimiento manteniendo todas las superficies continuamente húmedas durante este periodo. Dicho curado se realiza de la siguiente manera: se coloca en la parte inferior de la cimbra y a todas las caras del bloque a curar una manguera de PVC con perforaciones a cada 5 cm, de tal forma que con la circulación del agua en la manguera el agua salga por dichos perforaciones y se este constantemente humedeciendo todas las caras del Bloque expuestas a la intemperie y que sin dicha humedad pudiesen formarse grietas en el concreto.



POST-ENFRIAMIENTO

Esta sección se refiere a los métodos y requerimientos relativos al enfriamiento del concreto masivo, después de haber sido colocado, con el fin de acelerar su contracción antes de empezar el llenado del embalse. En la licitación del proyecto se entregaron las especificaciones generales para esta

actividad, donde se establece que los serpentines deben ser de acero negro de 1" de diámetro interno y 2 mm mínimo de espesor. También se plantea la utilización de agua fría para lo cual el contratista debe contar con el equipo para este fin, se establece el cambio de flujo por lo menos cada 3 días, el flujo debe ser mayor a 0.2 lt/s.

En mayo 1992 el proyectista Lombardi entrega la nota técnica 704-7-r-1, donde se propone un cambio en el material a ocupar para los serpentines, en lugar de ser de acero negro, se utilizará tubería de PVC. Es aceptada tal proposición ya que el proyectista demuestra que la tubería de PVC tiene un 90% de la transmisibilidad de temperatura que el acero posee. Para que el sistema funcione y se lleve un buen control se deben cuidar las siguientes actividades:

1.- Verificación de la calidad de la tubería PVC: previamente al envío de la tubería de PVC a la obra esta debe ser liberada por la GIEYc, para la cual el contratista dá aviso para que proceda a su verificación.

2.- Colocación de tubería de PVC de 1" de diámetro: se verifica que la tubería cumple con las características especificadas, diámetro interior 1" de diámetro y 2 mm de espesor y que venga certificada su calidad por GIEYc. Se verifica que al colocar la tubería la distancia entre líneas sea de 1.5 m y la distancia entre línea y parámetro sea de 0.75 metros.



3.- Una vez colocado el serpentín se verifica que todas sus conexiones trabajen adecuadamente, esto se logra haciéndole circular agua y se libere o se repare en dado caso que halla fugas.

4.- Cuidado de la tubería durante el colado se cuida que no circule equipo sobre los serpentines hasta que exista al menos una capa de 40 cm sobre ellos, para evitar dañarlos y moviéndolos en caso necesario para la circulación del equipo de compactación del concreto y volviéndolos a colocar en su sitio antes de quedar ahogados, además se debe tener cuidado de no vibrar directamente sobre el serpentín. Como medida de control se estableció iniciar la circulación de agua iniciando el colado para detectar con facilidad rupturas de la tubería. En caso de daño se debe reparar inmediatamente para poder continuar con el colado.

5.- Colocación de termocuplas durante el colado. En el proceso del colado se dejan ahogadas termocuplas, siendo en el centro de la tongada que es donde se obtiene la mayor temperatura de la tongada, se verifica la

correcta colocación, cuidando no dañarla. Se checa que el cable no se dañe y quede libre en los parámetros o dentro de las galerías para poder tomar las lecturas de la temperatura con el termómetro digital.

6.- Control de temperaturas en termocuplas. Una vez terminado el colado se procede a tomar una vez al día la lectura del concreto para determinar la temperatura máxima alcanzada (generalmente entre los días 4 al 6) y establecer el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de 27°C e iniciar la circulación de agua enfriada a 6°C para finalmente determinar el tiempo en lograr enfriar la tongada a 19°. Los tiempos estimados de 60 días para enfriarla a 27°C con circulación de agua de río y de 30 días para llevarlo a 19°C con agua a 6°C circulando por los serpentines, se preestablecieron tomando los siguientes datos:

- Consumo de cemento 260 kg/m³.
- Peso específico de concreto 2500 kg/m³.
- Calor específico 0.23 Kcal/Kg°C.
- Calor de hidratación (12 días) 15454 Kcal/m³.
- Difusibilidad de concreto 0.003 m²/h.
- Temperatura de colocación del concreto 20°C.

7.- Control de temperaturas en serpentines. La temperatura del agua que circula en los serpentines se verifica 3 veces al día a las 5:00; 15:00 y 22:00 hr. con la misma finalidad que las temperaturas de las termocuplas. Los termómetros utilizados deben ser previamente calibrados con aproximación a décimas de grado.

Para determinar la temperatura de la tongada se debe parar la circulación de agua para que permanezca 24 hr. en contacto con el concreto y este le transmita la temperatura que ese día tiene el concreto y determinar si se continua con agua de río, agua fría o se para el flujo por haber cumplido con la temperatura de 19°C.

8.- Control de circulación de agua en serpentines. Se verifica que circule un gasto de 0.2 lt/s en cada serpentín con ayuda de un contador de flujo. Se verifica que cada 24 hr se invierta el flujo de agua para garantizar que el enfriamiento del bloque sea en forma homogénea. Se checa el sistema de bombeo y almacenamiento para que existan pocas demoras en la circulación de agua. Para la identificación de los serpentines se marcan a la entrada y salida de los distribuidores.

9.- Procesamiento de Datos. Se elaboran gráficas de temperatura contra tiempo, se revisa el principio y se corrige en caso de existir anomalías, como un incremento en la temperatura sin causa aparente, después de haber revisado termómetros, serpentines, etc.

Se determina el tiempo de cada etapa de enfriamiento con agua de río y con agua enfriada a 6°C.

10.- Elaboración de informes. Se elabora un informe mensual donde se registra el avance parcial y acumulado, se informa de los aspectos relevantes, problemas de obra y sus correcciones.

GRÁFICAS Y TABLAS DE POST-ENFRIAMIENTO

FRENTE: CORTINA

POST-ENFRIAMIENTO PERIODOS DE CIRCULACION DEL AGUA POR ALZADA

FLM	ALZ	BLOQUE I					
		FECH INICIO	FECH FIN	EDAD INICIO	FECH FIN FMA	EDAD FIN FMA	
1364	2	12-Dec-92	23-Mar-93	101	22-Apr-93	131	
1367	3	16-Dec-92	23-Mar-93	97	22-Apr-93	127	
1370	4	10-Jan-93	23-Mar-93	72	22-Apr-93	102	
1373	5	25-Jan-93	23-Mar-93	57	22-Apr-93	87	
1378	6	29-Jan-93	17-May-93	108	09-Jul-93	181	
1379	7	08-Feb-93	17-May-93	98	09-Jul-93	151	
1382	8	10-Feb-93	17-May-93	96	09-Jul-93	149	
1385	9	17-Feb-93	17-May-93	89	09-Jul-93	142	
1388	10	21-Feb-93	17-May-93	85	09-Jul-93	138	
1391	11	10-Mar-93	17-May-93	68	09-Jul-93	121	
1394	12	18-Mar-93	17-May-93	60	09-Jul-93	113	
1397	13	25-Mar-93	17-May-93	53	09-Jul-93	108	
1400	14	02-Apr-93	17-May-93	45	09-Jul-93	98	
1403	15	07-Apr-93	10-Jul-93	94	09-Aug-93	124	
1408	16	14-Apr-93	10-Jul-93	87	09-Aug-93	117	
1409	17	07-Apr-93	10-Jul-93	94	09-Aug-93	124	
1412	18	22-Apr-93	10-Jul-93	79	09-Aug-93	109	
1415	19	28-Apr-93	10-Jul-93	73	09-Aug-93	103	
1418	20	02-May-93	10-Jul-93	69	09-Aug-93	99	
1421	21	12-May-93	10-Jul-93	58	09-Aug-93	89	
1424	22	18-May-93	05-Sep-93	112	24-Sep-93	131	
1427	23	28-May-93	05-Sep-93	100	24-Sep-93	119	
1430	24	31-May-93	05-Sep-93	97	24-Sep-93	118	
1433	25	08-Jun-93	05-Sep-93	89	24-Sep-93	108	
1436	26	14-Jun-93	05-Sep-93	83	24-Sep-93	102	
1439	27	17-Jun-93	05-Sep-93	80	24-Sep-93	99	
1442	28	21-Jun-93	05-Sep-93	76	24-Sep-93	95	
1445	29	07-Jul-93	05-Sep-93	80	24-Sep-93	79	
1448	30	14-Jul-93	08-Oct-93	86	31-Oct-93	109	
1451	31	23-Jul-93	08-Oct-93	77	31-Oct-93	100	
1454	32	28-Jul-93	08-Oct-93	72	31-Oct-93	95	
1457	33	05-Aug-93	08-Oct-93	64	31-Oct-93	87	
1460	34	09-Aug-93	08-Oct-93	60	31-Oct-93	83	
1463	35	13-Aug-93	31-Oct-93	79	18-Nov-93	97	
1466	36	22-Aug-93	31-Oct-93	70	18-Nov-93	88	
1469	37	03-Sep-93	31-Oct-93	58	18-Nov-93	76	
1472	38	07-Sep-93	31-Oct-93	54	18-Nov-93	72	
1475	39	*	10-Sep-93	30-Nov-93	81	---	---
1478	40	*	17-Sep-93	30-Nov-93	74	---	---
1481	41	*	21-Sep-93	30-Nov-93	70	---	---
1484	42	*	28-Sep-93	30-Nov-93	63	---	---
1487	43	*	02-Oct-93	30-Nov-93	59	---	---
1490	44	*	05-Oct-93	30-Nov-93	56	---	---
1493	45	*	15-Oct-93	30-Nov-93	45	---	---
1496	46	*	26-Oct-93	30-Nov-93	35	---	---
1499	47	*	31-Oct-93	30-Nov-93	30	---	---
1502	48	*	04-Nov-93	30-Nov-93	26	---	---
1505	49	*	11-Nov-93	30-Nov-93	19	---	---
1508	50	*	14-Nov-93	30-Nov-93	16	---	---
1511	51	*	18-Nov-93	30-Nov-93	12	---	---
1514	52	*	26-Nov-93	30-Nov-93	4	---	---

NOTA: LAS ALZADAS MARCADAS CONTINUAN CON AGUA DE RIO SU ENFRIAMIENTO A LA FECHA.

FRENTE: CORTINA

POST-ENFRIAMIENTO PERIODOS DE CIRCULACION DEL AGUA POR ALZADA

B.N.	ALZ.	BLOQUE 2				
		FECHA INICIO	FECHA FIN	EDAD FIN	FECHA FIN FMA	EDAD FIN FMA
1364	2	16-Nov-92	23-Mar-93	127	22-Apr-93	157
1367	3	28-Nov-92	23-Mar-93	115	22-Apr-93	145
1370	4	03-Dec-92	23-Mar-93	110	22-Apr-93	140
1373	5	20-Dec-92	23-Mar-93	93	22-Apr-93	123
1376	6	13-Jan-93	17-May-93	124	09-Jul-93	177
1379	7	18-Jan-93	17-May-93	121	09-Jul-93	174
1382	8	23-Jan-93	17-May-93	114	09-Jul-93	167
1385	9	28-Jan-93	17-May-93	109	09-Jul-93	162
1388	10	30-Jan-93	17-May-93	107	09-Jul-93	160
1391	11	07-Feb-93	17-May-93	99	09-Jul-93	152
1394	12	09-Feb-93	17-May-93	97	09-Jul-93	150
1397	13	04-Mar-93	17-May-93	74	09-Jul-93	127
1400	14	09-Mar-93	17-May-93	69	09-Jul-93	122
1403	15	12-Mar-93	10-Jul-93	120	09-Aug-93	150
1406	16	20-Mar-93	10-Jul-93	112	09-Aug-93	142
1409	17	24-Mar-93	10-Jul-93	108	09-Aug-93	138
1412	18	31-Mar-93	10-Jul-93	101	09-Aug-93	131
1415	19	08-Apr-93	10-Jul-93	95	09-Aug-93	125
1418	20	13-Apr-93	10-Jul-93	88	09-Aug-93	118
1421	21	21-Apr-93	10-Jul-93	80	09-Aug-93	110
1424	22	18-May-93	05-Sep-93	110	24-Sep-93	129
1427	23	26-May-93	05-Sep-93	102	24-Sep-93	121
1430	24	26-Jun-93	05-Sep-93	71	24-Sep-93	90
1433	25	30-Jun-93	05-Sep-93	67	24-Sep-93	86
1436	26	09-Jul-93	05-Sep-93	58	24-Sep-93	77
1439	27	12-Jul-93	05-Sep-93	55	24-Sep-93	74
1442	28	20-Jul-93	05-Sep-93	47	24-Sep-93	66
1445	29	27-Jul-93	05-Sep-93	40	24-Sep-93	59
1448	30	04-Aug-93	06-Oct-93	65	31-Oct-93	88
1451	31	08-Aug-93	06-Oct-93	61	31-Oct-93	84
1454	32	12-Aug-93	06-Oct-93	57	31-Oct-93	80
1457	33	19-Aug-93	06-Oct-93	50	31-Oct-93	73
1460	34	25-Aug-93	06-Oct-93	44	31-Oct-93	67
1463	35	06-Sep-93	31-Oct-93	55	18-Nov-93	73
1466	36	09-Sep-93	31-Oct-93	52	18-Nov-93	70
1469	37	18-Sep-93	31-Oct-93	43	18-Nov-93	61
1472	38	22-Sep-93	31-Oct-93	39	18-Nov-93	57
1475	39	*	29-Sep-93	30-Nov-93	62	...
1478	40	*	03-Oct-93	30-Nov-93	58	...
1481	41	*	07-Oct-93	30-Nov-93	54	...
1484	42	*	13-Oct-93	30-Nov-93	48	...
1487	43	*	18-Oct-93	30-Nov-93	43	...
1490	44	*	28-Oct-93	30-Nov-93	33	...
1493	45	*	02-Nov-93	30-Nov-93	28	...
1496	46	*	10-Nov-93	30-Nov-93	20	...
1499	47	*	13-Nov-93	30-Nov-93	17	...
1502	48	*	17-Nov-93	30-Nov-93	13	...
1505	49	*	25-Nov-93	30-Nov-93	5	...
1508	50	*	29-Nov-93	30-Nov-93	1	...

NOTA: LAS ALZADAS MARCADAS CONTINUAN CON AGUA DE RIO SU ENFRIAMIENTO A LA FECHA.

FRENTE: CORTINA

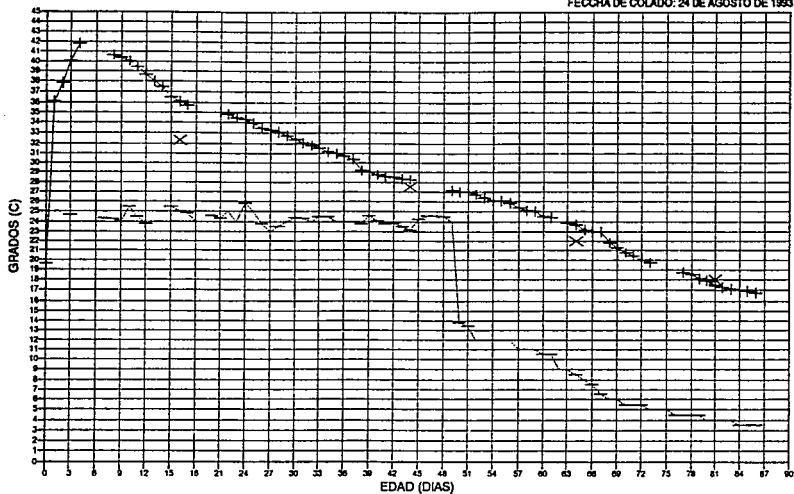
POST-ENFRIAMIENTO PERIODOS DE CIRCULACION DEL AGUA POR ALZADA

ELEV.	ALZ.	BLOQUE 3				
		FECHA IN-CR	FECHA FIN-RO	EDAD FIN-RO	FECHA FIN-FRIA	EDAD FIN-FRIA
1364	2	02-Dec-92	23-Mar-93	111	22-Apr-93	141
1367	3	13-Dec-92	23-Mar-93	100	22-Apr-93	130
1370	4	21-Dec-92	23-Mar-93	92	22-Apr-93	122
1373	5	21-Jan-93	23-Mar-93	81	22-Apr-93	91
1376	6	27-Jan-93	17-May-93	110	09-Jul-93	183
1379	7	05-Feb-93	17-May-93	101	09-Jul-93	154
1382	8	09-Feb-93	17-May-93	97	09-Jul-93	150
1385	9	11-Feb-93	17-May-93	95	09-Jul-93	148
1388	10	19-Feb-93	17-May-93	87	09-Jul-93	140
1391	11	07-Mar-93	17-May-93	71	09-Jul-93	124
1394	12	11-Mar-93	17-May-93	67	09-Jul-93	120
1397	13	22-Mar-93	17-May-93	56	09-Jul-93	109
1400	14	27-Mar-93	17-May-93	51	09-Jul-93	104
1403	15	04-Apr-93	10-Jul-93	97	09-Aug-93	127
1406	16	08-Apr-93	10-Jul-93	93	09-Aug-93	123
1409	17	18-Apr-93	10-Jul-93	83	09-Aug-93	113
1412	18	20-Apr-93	10-Jul-93	81	09-Aug-93	111
1415	19	27-Apr-93	10-Jul-93	74	09-Aug-93	104
1418	20	01-May-93	10-Jul-93	70	09-Aug-93	100
1421	21	06-May-93	10-Jul-93	65	09-Aug-93	95
1424	22	13-May-93	05-Sep-93	115	24-Sep-93	134
1427	23	20-May-93	05-Sep-93	108	24-Sep-93	127
1430	24	29-May-93	05-Sep-93	99	24-Sep-93	118
1433	25	02-Jun-93	05-Sep-93	85	24-Sep-93	114
1436	26	12-Jun-93	05-Sep-93	85	24-Sep-93	104
1439	27	16-Jun-93	05-Sep-93	81	24-Sep-93	100
1442	28	22-Jun-93	05-Sep-93	75	24-Sep-93	94
1445	29	26-Jun-93	05-Sep-93	89	24-Sep-93	88
1448	30	11-Jul-93	08-Oct-93	89	31-Oct-93	112
1451	31	21-Jul-93	08-Oct-93	79	31-Oct-93	102
1454	32	25-Jul-93	08-Oct-93	75	31-Oct-93	98
1457	33	30-Jul-93	08-Oct-93	70	31-Oct-93	93
1460	34	07-Aug-93	08-Oct-93	62	31-Oct-93	85
1463	35	10-Aug-93	31-Oct-93	82	18-Nov-93	100
1466	36	18-Aug-93	31-Oct-93	74	18-Nov-93	92
1469	37	24-Aug-93	31-Oct-93	68	18-Nov-93	86
1472	38	04-Sep-93	31-Oct-93	57	18-Nov-93	75
1475	39	* 06-Sep-93	30-Nov-93	83	---	---
1478	40	* 15-Sep-93	30-Nov-93	76	---	---
1481	41	* 20-Sep-93	30-Nov-93	71	---	---
1484	42	* 26-Sep-93	30-Nov-93	65	---	---
1487	43	* 01-Oct-93	30-Nov-93	60	---	---
1490	44	* 04-Oct-93	30-Nov-93	57	---	---
1493	45	* 19-Oct-93	30-Nov-93	42	---	---
1496	46	* 29-Oct-93	30-Nov-93	32	---	---
1499	47	* 01-Nov-93	30-Nov-93	29	---	---
1502	48	* 06-Nov-93	30-Nov-93	24	---	---
1505	49	* 12-Nov-93	30-Nov-93	18	---	---
1508	50	* 16-Nov-93	30-Nov-93	14	---	---
1511	51	* 23-Nov-93	30-Nov-93	7	---	---
1514	52	* 27-Nov-93	30-Nov-93	3	---	---

NOTA: LAS ALZADAS MARCADAS CONTINUAN CON AGUA DE RIO SU ENFRIAMIENTO A LA FECHA.

P.H. ZIMAPAN POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 3.37

FECHA DE COLADO: 24 DE AGOSTO DE 1993



+ SENSOR

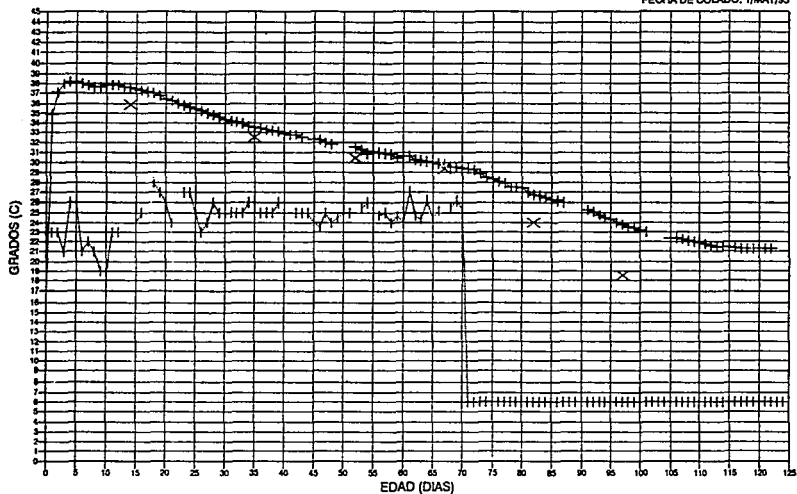
X SERPENTIN

— AGUA ENTRADA 15:00

PAG.

P.H. ZIMAPAN
POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 3.20

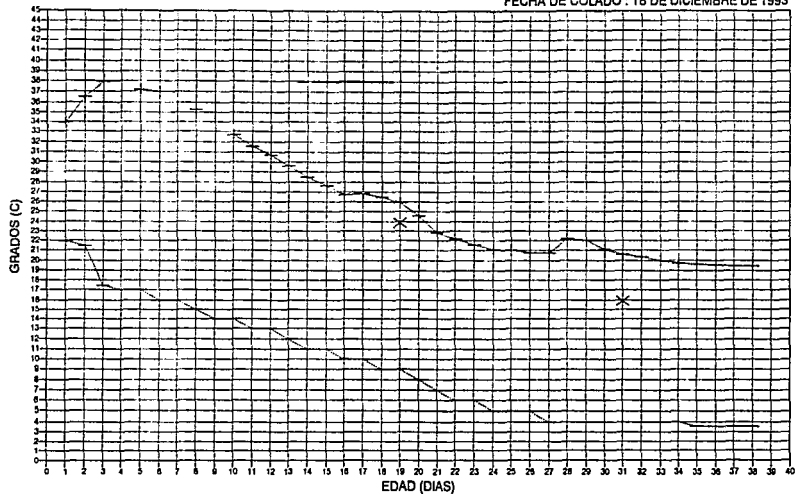
FECHA DE COLADO: 1/MAY/93



+ SENSOR x SERPENTIN | AGUA ENTRADA 15:00

P.H. ZIMAPAN
POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 2.53

FECHA DE COLADO: 18 DE DICIEMBRE DE 1993

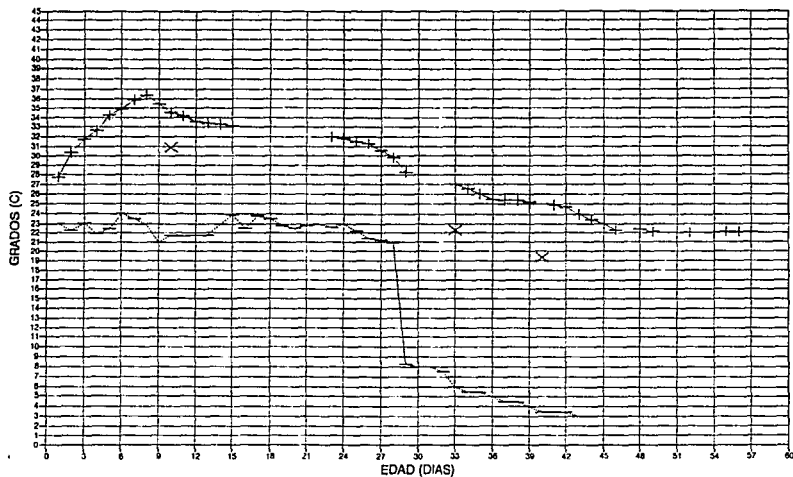


+ SENSOR X SERPENTIN — AGUA ENTRADA 15:00

P.H. ZIMAPAN

POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 2.45

FECHA DE COLADO: 2 DE NOVIEMBRE DE 1993



+ SENSOR

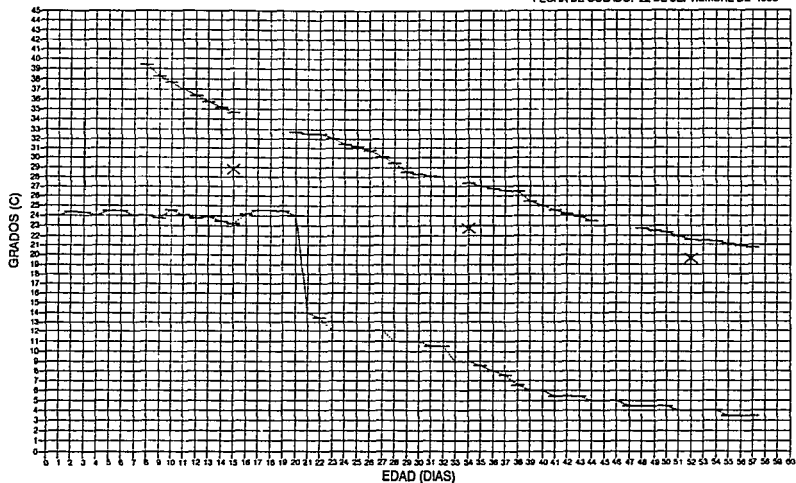
X SERPENTIN

— AGUA ENTRADA 15:00

PAG.

P.H. ZIMAPAN
POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 2.38

FECHA DE COLADO: 22 DE SEPTIEMBRE DE 1993

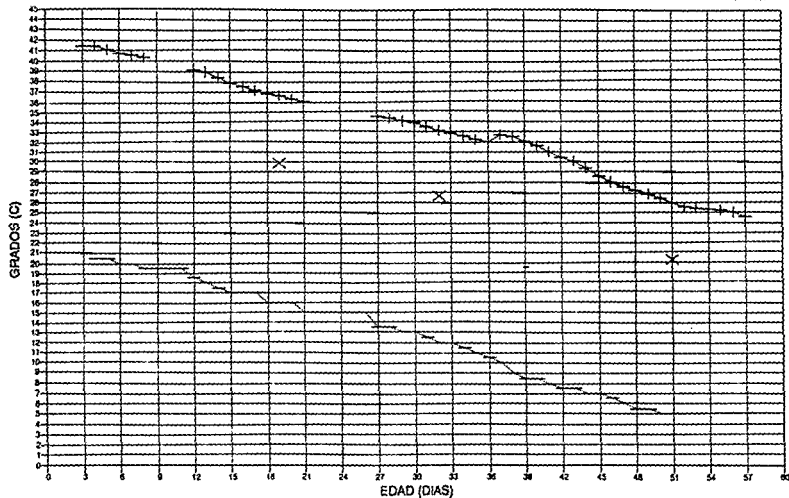


+ SENSOR x SERPENTIN — AGUA ENTRADA 15:00

P.H. ZIMAPAN

POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 2.30

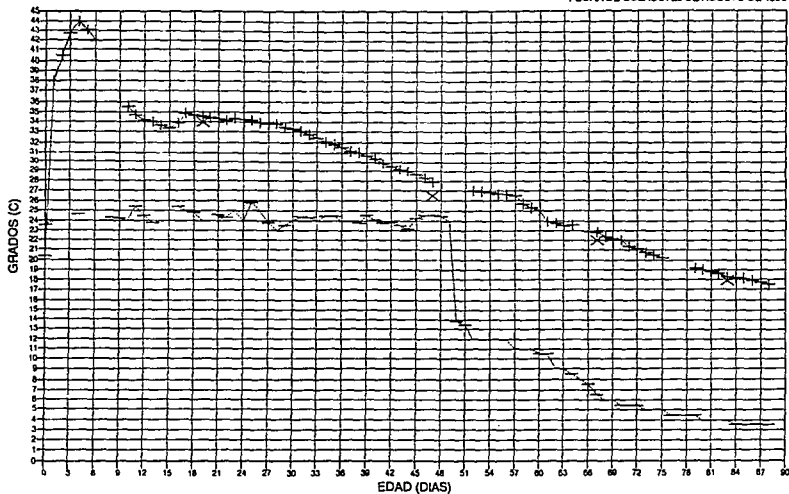
FECHA DE COLADO: 04/AGO/93



+ SENSOR x SERPENTIN — AGUA ENTRADA 15:00

P.H. ZIMAPAN POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 1.36

FECHA DE COLADO: 23 DE AGOSTO DE 1993

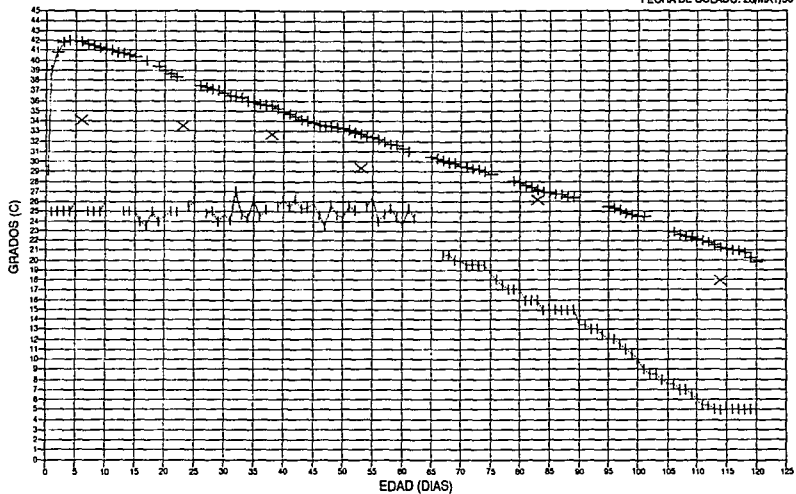


+ SENSOR X SERPENTIN — AGUA ENTRADA 15:00

PAG.

P.H. ZIMAPAN
POSTENFRIAMIENTO ALZADA: 1.23

FECHA DE COLADO: 28/MAY/93



+ SENSOR X SERPENTIN + AGUA ENTRADA 15:00

JUNTAS DE CONTRACCION

Se entiende por juntas todas aquellas que tienen como objetivo el permitir desplazamientos debido a las dilataciones térmicas, retiro de colado y/o diferencias en el asentamiento de las superficies de cimentación. Las juntas pueden ser del tipo superficie lisa o dentada.

En correspondencia con dichas juntas se deberá asegurar una completa separación entre los colados de concreto de un lado y del otro de las mismas. Por lo tanto el concreto de un lado de la junta deberá estar ya completamente endurecido antes de proceder al colado del bloque en contacto.

Las superficies de las juntas de la cortina al ser inyectadas son limpiadas de rebabas de concreto u otros materiales extraños, con cepillos, martillos, cinceles u otros medios antes de proceder al colado del bloque en contacto.

Entre las juntas se colocaban sellos de material flexible (tapajuntas), dichos sellos eran de PVC.

INYECCION DE LAS JUNTAS

Las inyecciones de las juntas de los bloques se efectúan por medio de un sistema de tuberías y válvulas de acero a ser empotradas durante el colado. Este sistema está diseñado para poder ejecutar inyecciones múltiples, es decir en dos o más etapas sucesivas. Las inyecciones de la primera etapa serán ejecutadas antes de llenar el embalse, la primera etapa esta comprendida de la elevación 1362 a la 1445. Los tubos para la inyección de las juntas son del tipo negro y sin soldadura. Las válvulas a colocarse en las juntas de expansión son del tipo rodío, permiten la inyección en varas etapas, las juntas para tubería son de rosca. Después de la instalación y antes del colado son limpiadas y sometidas a prueba de presión, después de haber colocado tapas probisionales a las válvulas de inyección. La presión de prueba es de aproximadamente 3 atmósferas y es mantenida por un tiempo no inferior a 10 minutos.

La mezcla esta constituida por agua-cemento-aditivo fluidificante especial. El aditivo fluidificante especial es del tipo del diseñado para inyecciones de fisuras, que es el sikamet, producido por Sika.

Antes de inyectar una porción de la junta (celda), la superficie relativa es limpiada por medio de aire y agua a presión y es suspendido hasta que el agua salga limpia, posteriormente es llenada con agua con un plazo de 24 Hrs.

El agua es completamente eliminada de la celda por medio de aire a presión antes de empezar la inyección.

INYECCION

La inyección de las juntas será ejecutada empezando por la parte más baja de la cimentación de la cortina y procediendo hacia la corona, fajas horizontales, en forma tal que todas las celdas de bloque que se encuentra a la misma elevación sean inyectadas antes de empezar la inyección de las celdas superiores.

La presión de inyección de primera etapa variara de aproximadamente 5 a 3 Kg/cm² y es decreciente del cauce del río a la corona. La inyección de cada celda es ejecutada en un tiempo aproximado de 2 Hr. y se opera en forma tal que permita la máxima sedimentación de la lechada. La inyección puede ser simultánea en una o más celdas a la misma elevación. Durante la operación de inyección de cada celda, las celdas adyacentes son llenadas de agua y un flujo con un gasto de aproximadamente 0.3 lt/s es mantenido durante todo el período de inyección. El agua es descargada 6 hr. después de la terminación de la inyección.

Durante la inyección la válvula de respiradero se deja abierta hasta que la celda esta completamente llena de lechada y luego es cerrada y aplicada la presión máxima requerida. La presión es mantenida por un período de 15 a 30 minutos y luego la tubería es limpiada con agua a baja presión, con el objeto de permitir la inyección de la segunda etapa y de la tercera etapa si es requerida.

Antes del fraguado de la lechada es además limpiado el tubo respiradero y la ranura relativa.

La presión de inyección de segunda y tercera etapa es 1.5 veces la indicada para la primera etapa.

RESISTENCIA DE PROYECCION Y REQUERIDA

De acuerdo con la nota técnica 704.8-R-11 del proyectista el concreto del cuerpo de la cortina es fabricado para cumplir con una resistencia de proyecto a los 90 días de edad $f_{c90}=200 \text{ kg/cm}^2$ determinada en cilindros de 30 X 60 cm hechos con concreto integral.

Las especificaciones de resistencia de la obra requieren que no menos del 85% de las pruebas en nuestras representativas produzcan una resistencia igual o mayor que la de proyecto. Para cumplir con ello, la mezcla de concreto es diseñada para obtener una resistencia promedio requerida a los 90 días en el concreto integral.

$$f_{cr90} = f_{c90} + tr$$

Siendo en este caso $t=1.04$ (para $15\% < f_{c90}$) y $\sigma = 35 \text{ kg/cm}^2$ (para un buen control en la uniformidad del concreto, según ACI). Por consiguiente, la resistencia promedio o requerida a 90 días f_{c90} es igual a 236 Kg/cm^2 (240 kg/cm^2 para fines prácticos).

ESPECÍMENES DE PRUEBA

El proyectista recomienda que la verificación de la resistencia a compresión del concreto se lleve a cabo ensayando rutinariamente cilindros de $30 \times 60 \text{ cm}$ hechos con el concreto integral (tamaño máximo de grava $76 \text{ mm} = 3''$) lo cual tiene grandes inconvenientes de orden práctico por la dificultad que representa su elaboración, manejo, almacenamiento y curado, cabeceo y ensayo de numerosos especímenes cilíndricos cuyo peso individual es de aproximadamente 105 Kg .

Como vía alterna se propuso que al diseñar la mezcla de concreto en el laboratorio se ensayen especímenes cilíndricos de 30×60 (de concreto integral) para cumplir con el requerimiento del proyectista, y simultáneamente se elaboren (de las mismas mezclas) especímenes cúbicos de 25 cm , también de concreto integral, y especímenes cilíndricos de $15 \times 30 \text{ cm}$ de concreto cribado por la malla de 30 mm a fin de ensayar los a las mismas edades y establecer experimentalmente los factores de relación entre las resistencias obtenidas en estos tres tipos de especímenes. En la siguiente figura se muestran las principales características de dichos tipos de especímenes, considerando factores de relación preliminares.

1		2		3
		Cilindro 30 x 60		
cubo de 25 cm				cilindro 15x30
300		240		290
kg/cm ²	+25%	kg/cm ²	+20 %	Kg/cm ²
		(100%)		

	1	2	3
Muestra de concreto	INTEGRAL	INTEGRAL	CRIBADO
T.M.A, mm	76	76	38
Relación, diámetro /TMA	3.3	4.0	4.0
Volumen, lt	16.0	42.5	5.5
Peso, Kg	38	105	13
Carga de ruptura, ton	188	170	52

Las mayores ventajas de los especímenes cúbicos de 25 cm propuestos son:

- 1) Su peso reducido que les permite ser manejados por una sola persona.
- 2) Su menor tamaño que requiere menos espacio en la cámara de curado.
- 3) El hecho de que no requieren ser cabeceados con azufre para su ensaye a compresión; también es conveniente hacer notar que la prensa disponible en el laboratorio de la obra es idónea para ensayar especímenes cúbicos.

A fin de obtener experimentalmente factores de relación de resistencia que sean suficientemente confiables, se realizaron pruebas comparativas en obra con los tres tipos de especímenes, reproduciendo la mezcla de concreto diseñada, un número considerable de veces, previamente al inicio de los colados en la cortina.

PLAN DE MUESTREO Y PRUEBAS

Para comprobar la resistencia del concreto producido y colocado en la cortina se llevó a cabo el siguiente plan:

a) Por cada 250 m³ de concreto colocado de manera continua (o por turno si el volumen era menor) se debe obtener una muestra de concreto suficiente para elaborar los especímenes cuyas características, condiciones de curado y edades de prueba se indican:

Especimen	Concreto	Cantidad	Curado	Edad de Prueba
Cubo (25 cm)	integral	2	normal	7 días
Cubo (25 cm)	integral	2	normal	90 días
Cilindro (15x30)	cribado	2	normal	7 días
Cilindro (15x30)	cribado	2	normal	28 días
Cilindro (15x30)	cribado	2	normal	90 días

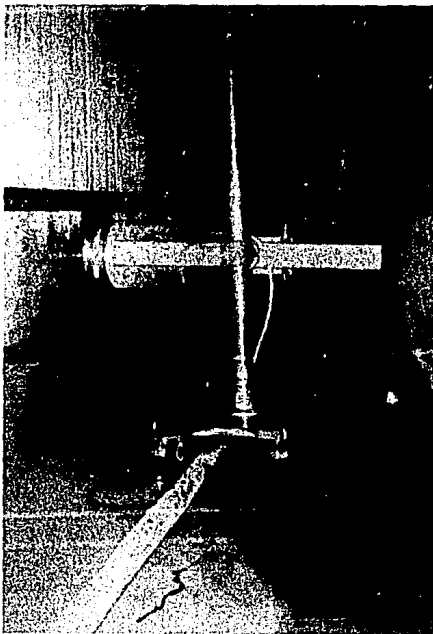
Volumen aproximado de la muestra total = 120 litros

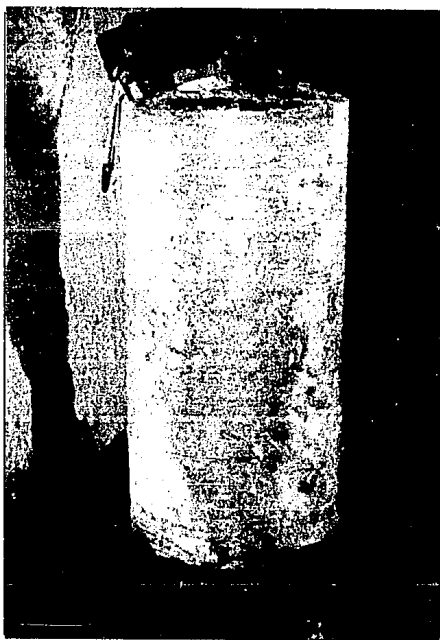
b) Por cada alzada (tongada) una de las muestras anteriores debe contener 100 lt adicionales de concreto, suficientes para elaborar dos cilindros de concreto integral de 30 x 60 cm, para ser curados normalmente y

ensayados a 90 días de edad, a fin de determinarle su resistencia a compresión.

c) Ocasionalmente (del orden de una vez por quincena) se elaboran otros dos cilindros adicionales de concreto integral de 30 x 60 cm, para programar su ensaye a compresión a mayor edad, a seis meses o un año.

d) En cada una de las 7 galerías, en cada uno de los bloques y en ambos muros de dichas galerías se obtuvieron núcleos de concreto de 30 cm de diámetro y 60 cm de altura para ser probados a compresión.





CAPÍTULO III

GALERÍAS

En el proyecto hay tres tipos de galerías:

- 1) Galerías de Inspección
- 2) Galerías de Inyección
- 3) Galerías de Estabilización

1) GALERIAS DE INSPECCION:

Estas galerías como su nombre lo indica servirán para inspeccionar el concreto de la cortina, por medio de instrumentos instalados en estas, como son: piezómetros, termómetros, micrómetros, etc. esto con el fin de tener un seguimiento en el comportamiento del concreto de la cortina y los medios que la rodean.

Dichas galerías se encuentran alojadas en el cuerpo de la cortina y algunas se extienden un poco más en la roca en ambas laderas y se localizan en las siguientes elevaciones: 1373, 1397, 1421, 1445, 1469, 1493 y 1517. Las galerías que se extienden hacia las laderas y funcionan con el fin de inspección, son: 1397, 1445 y 1593.

Este tipo de Galerías se colaban conjuntamente con el cuerpo de la cortina, el traslado del concreto se realiza por medio de ollas de concreto montadas sobre un tractocamión, con una capacidad de 5 m³.

Este concreto al igual que todos los concretos de las obras de la boquilla se fabrica en la planta CIFA que se localiza a 2 Km de la boquilla. El armado para este tipo de galerías con acero de refuerzo de 3/4" de diámetro formando una parrilla en ambos lados, piso y losa de 20 X 20 cm, así como en todo el diámetro de los 7 m de longitud que se extiende dicha galería en la roca. La cimbra para la galería que se encuentra en el cuerpo de la cortina es metálica con chapa de madera y se sujeta con polines de madera o con separadores tubulares metálicos que en los extremos tienen una placa con rosca para darle la abertura deseada y así asegurar la rigidez requerida para la cimbra.

La colocación del concreto se realiza a través de la graba STAC y la bacha acoplada a la grúa, depositandolo casi en su lugar definitivo, para posteriormente extenderlo con el tractor S5H caterpillar que es con el que se extiende el concreto en el cuerpo de la cortina, para posteriormente vibrarlo con el retrovibrador y con un vibrador de 4" de diámetro.

Al igual que el concreto de la cortina el revenimiento para las galerías de inspección es demasiado bajo (2 cm ± 2 cm) solo que el T.M.A. es de 1½", a consecuencia de esto último se le tenía que avisar a la persona que esta encargada de la colocación del concreto para que se colocara en su sitio, y no se fuera a colocar como concreto del cuerpo de la cortina.

El descimbrado se realiza después de 24 hrs de haber sido colocado el concreto. Para evitar daños al concreto a la hora de estar descimbrando a la cimbra se le aplica desmoldante o diesel para que sea más fácil dicho trabajo. Una vez descimbrado a las superficies expuestas se les aplica membrana de curacreto que sirve para que el concreto no pierda humedad y así evitar el agrietamiento del mismo.

Al igual que a todos los concretos de las estructuras del proyecto se le

realizan pruebas de revenimiento y compresión, con el fin de verificar la calidad especificada de los concretos utilizados en las galerías de inspección.



2) GALERIAS DE INYECCION:

Estas galerías se encuentran alojadas en ambas laderas y sirven para realizar los trabajos de investigación de la roca a través de pruebas Lugeon y los trabajos de la pantalla impermeable de inyección.

Dichas galerías tienen una sección circular con un diámetro de 3 m y de longitud variable, dependiendo del nivel en que se encuentre cada galería.

Los niveles en los que se localizan las galerías son los siguientes: 1373 incluyendo el cuerpo de la cortina, 1421, 1469 y 1517. Estas galerías llevan armado

de acero de refuerzo en los primeros 7 m de la galería medidos a partir del enlace con el cuerpo de la cortina, dicho armado tiene como objetivo el tener un enlace entre el cuerpo de la cortina y la roca a través de la galería por medio de dicho acero de refuerzo.

El armado esta constituido por varillas de 3/4" de diámetro formando una parrilla de 20 X 20 cm en toda la circunferencia de la galería.

El espesor de concreto es de 20 cm medidos a partir de la línea teórica de excavación y en toda la longitud de la galería.

La cimbra para galerías son metálicas y del tipo telescópica en módulos de 1.5 m cada una y con una longitud máxima de colado de 9 m, es decir 6 módulos.

La cimbra tiene 3 ventanas en cada módulo, para permitir el acceso para la inspección y vibrado del concreto, para esto último, la cimbra cuenta además con vibradores de contacto en la clave de la sección. Las ventanas tienen unas dimensiones aproximada de 40 X 50 cm con la dimensión mayor paralela al eje de la galería.

Para darle las dimensiones requeridas, la cimbra cuenta con un gato que abre o cierra la cimbra y se cierra para descimbrar. El traslado se realiza a través de ollas de concreto desde la planta CIFA hasta una bomba de concreto localizada en la cortina que bombea a través de una tubería acoplada desde dicha bomba hasta el tramo de galería que se va a colar, realizando dicho colado en un tiempo aproximado de 8 hrs si no se presenta ninguna dificultad como es el taponamiento de la tubería o la descompostura de la bomba.

Debido a que el colado se realiza por medio de bombeo de concreto, este debe tener un revenimiento alto para evitar cualquier taponamiento, dicho revenimiento es de 14 ± 2 cm y el T.M.A. es de 3/4" y la tubería es de 6" de diámetro. Al igual que las galerías de inspección el descimbrado se realiza después de 24 hrs de haber colocado el concreto, y se le aplica membrana de curado para evitar la pérdida de humedad y evitar el agrietamiento del concreto.

Igualmente se le realizan pruebas de revenimiento y de compresión para garantizar la resistencia de proyecto que es de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.



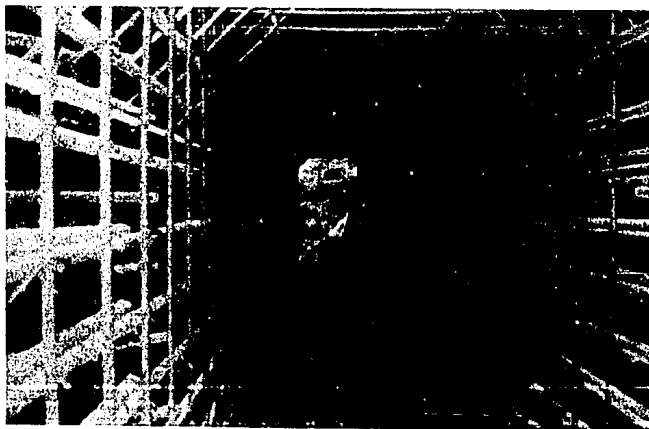
3) GALERIAS DE ESTABILIZACION

Este tipo de galerías tienen como objetivo el confinar y dar estabilización a las laderas que son el apoyo de la cortina, su funcionamiento es el similar a una ancla solo que a gran escala. Debido a la liberación de esfuerzos propiciados por la excavación de las laderas; se registraron caídos de bloques inestables y otros quedaron en equilibrio a límite. A consecuencia de lo anterior se tuvo que realizar acciones que detuvieran los caídos que de continuar, se debilitaría el apoyo de la cortina y con esto se vería en peligro la estabilidad de la cortina. Existen dos tipos de galerías de estabilización:

a) CON PASO DE HOMBRE

Estas galerías tienen un pasillo en su interior, que sirve para llegar a las mojoneras de instrumentación en las cuales se colocan teodolitos y con estos se pueden medir posibles hundimientos o desplazamientos que pudiera sufrir la cortina.

El armado de estas galerías tiene un área transversal de 900 cm^2 , estas áreas se reparten entre varillas de $1 \frac{3}{8}$ " de diámetro como se ilustra en la figura siguiente



Este tipo de galerías solo necesita la cimbra que le da forma al pasaje interno, que es de dovelas de madera, sujetas con polines que le dan la separación entre muros y la altura de la losa.

Debido a la longitud de las galerías y a la gran cantidad de concreto el colado se realiza en 3 fases como se indica en la figura anterior: la primera fase comprende el colado del piso; la segunda el colado de ambos muros y la tercera la

Bóveda. Para poder darle continuidad al concreto, es decir, que trabaje monolíticamente se le debe tratar después de cada fase a la junta quitándole la lechada superficial para que con la siguiente fase haya un ligamiento entre el colado anterior y el nuevo colado, lo anterior se realiza con aire y agua a presión.

El traslado del concreto se realiza por medio de ollas de concreto desde la planta CIFA ubicada a 2 Km de la boquilla. Su colocación se realiza por medio de una bomba de concreto colocada en la cortina haciendo llegar el concreto por medio de una tubería que va desde la bomba hasta la galería, de 6" de diámetro. El vibrado del concreto se realiza por medio de vibradores neumáticos de 4" de diámetro y se realiza con el cuidado necesario ya que de no ser así el concreto podría tener porosidades y con esto debilitarse, siendo peligroso ya que el funcionamiento que tienen estas estructuras es de suma importancia para el apoyo de la cortina.

Después de haber pasado 24 hrs del colado se inician con los trabajos del descimbrado y con la aplicación de la membrana de curado (curacreto) que es la forma con la que se realizan los trabajos de curado para evitar la pérdida de agua del concreto.

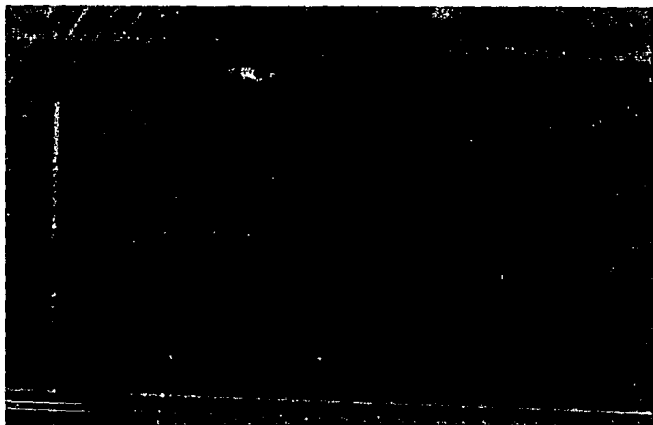
Estas galerías se localizan en las siguientes elevaciones y tienen un consumo de concreto de $f_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ de:

Elevación	Consumo(m ³)
1421 M.D	190
1421 M.I	335
1469 M.D	205
1469 M.I	400
1517 M.D	205
1517 M.I	225



b) GALERIAS SIN PASO

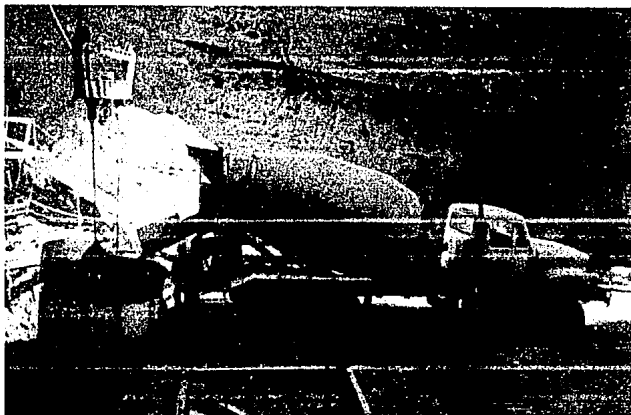
La diferencia con las anteriores galerías es que estas van completamente llenas de concreto y el arreglo de armado, ya que el área de acero requerida también va de los 900 cm^2 el armado de acero de refuerzo se muestra en la siguiente foto.

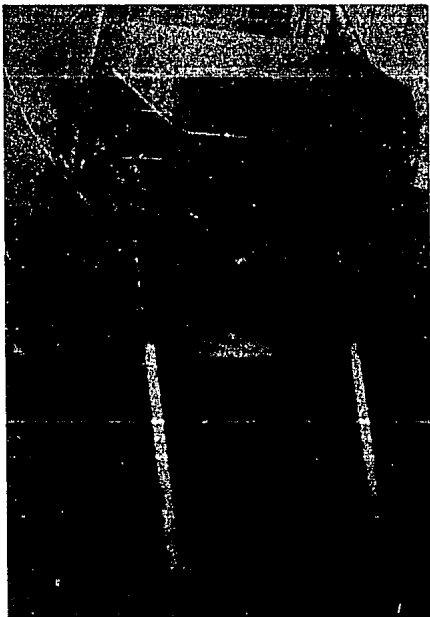


En este caso el colado se realiza en una sola fase y la cimbra requerida es únicamente los taponeros de ambos extremos de la galerías. El colado se realiza igualmente por medio de bombeo de concreto desde la cortina donde se encuentra la bomba y por medio de una tubería de 5" de diámetro y llega hasta la galería en cuestión.

Estas galerías se localizan en las siguientes elevaciones y tienen el consumo de concreto con $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ indicado:

Elevación	Consumo (M ³)
1433 M.D	260
1445 M.D	210
1457 M.D	240
1481 M.D	245
1499 M.D	265







CAPÍTULO IV

TRATAMIENTOS EN LADERAS

En este capítulo, se detallan los tratamientos previstos para el soporte de los bloques, adyacentes a la zona de excavación para el apoyo de la cortina, sobre la margen derecha, de acuerdo a la zonificación definida por la oficina de Mecánica de Rocas, GIEyC.

El problema principal de esta margen ha sido la inestabilidad de sus paredes originada, por la existencia de fracturas por relajamiento de la roca, la propia estratificación y los efectos dinámicos inducidos por las excavaciones. Todos estos factores conjugados con el aspecto estructural del macizo han provocado caídos o desprendimientos importantes en zonas involucradas en el apoyo del arco, o bien se tienen presentes condiciones de equilibrio límite.

ZONIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO

A continuación se describen en forma particular cada una de las zonas que, desde el punto de vista geotécnico, involucran la estabilidad del arco y de la propia caverna, así como por seguridad del personal y equipo durante la fase de construcción de la cortina.

ZONA I.A.

Esta zona se encuentra en la parte de aguas arriba del empotramiento entre las cotas 1565 a la 1540 aproximadamente con un ancho de 15 m, lo que corresponde a un área de 375 m².

Esta zona esta constituida por protuberancias o salientes de roca y discontinuidades debidas a la estratificación y a fracturas paralelas al cañón, así como fracturas del tipo NW, que son familias de fallas que llevan dirección Noreste.

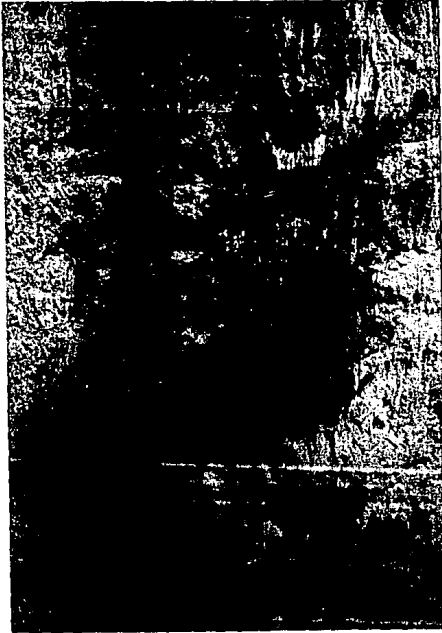
El tratamiento previsto tiene como propósito reforzar la roca en el apoyo de la caverna en su extremo de aguas arriba, debido a la concentración de esfuerzos inducidos, por la propia excavación. El refuerzo considerado consiste en un anclaje postensado a 50 toneladas, con barras de 12 m de longitud dispuestas en un patrón de 2.5 x 2.5 m. El anclaje será del tipo Dywidag grado 150 de 32 mm de diámetro.

ZONA I.B.

Se localiza en la parte de aguas arriba del empotramiento, comprendida entre las cotas 1540 a las 1495 aproximadamente, en un ancho de 15 m que corresponde a un área de 675 m². En esta zona se observa que el efecto de descompresión de la roca ha dejado bloques en condiciones potencialmente inestables sobre todo en zonas adyacentes que quedaron descubiertas por la excavación para el apoyo del arco. Debido a la continuidad de estas estructuras se ha considerado necesario colocar un refuerzo en el ancho ya previsto.

El refuerzo consiste en un anclaje de fricción con barras de acero de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, de 12 m de longitud dispuestas en un patrón de 2.5 x 2.5 m inyectadas con mortero $f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$, en barrenos de 3" de diámetro. En su extremo final la barra deberá estar prevista de una placa metálica de 20 x 20 cm x 1/2".

Aproximadamente, en la cota 1515 se localiza en forma ascendente hacia aguas arriba la excavación de una media caña, en la cual se deberá colocar un concreto de reposición en un ancho de 20 m; este concreto deberá tener un $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.



ZONA II

Se localiza en la zona de aguas abajo del empotramiento del arco, entre las cotas 1535 aproximadamente, en un ancho promedio de 15 m, lo que arroja un área de 405 m² aproximadamente.

En esta zona se tienen previstos dos tratamientos: La colocación de un anclaje postensado y la reposición de roca con concreto. Ambos tratamientos tienen por objeto reforzar roca a lo largo de las fracturas, principalmente por relajamiento, que son paralelas al cañón.

El refuerzo a base de anclas postensadas se llevará a una precarga de 50 toneladas, tendrá una longitud de 12 m dispuestas en un patrón de 2.5 x 2.5 m. Posteriormente se efectuará la reposición con concreto en el área definida, para lo cual deberá considerarse un concreto con un $f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

El anclaje postensado considera barras Dywildag grado 150 de 32.0 mm de diámetro.

ZONA III

Adyacente a la zona II con dirección hacia aguas abajo, se ubica la zona III de tratamiento, de la cota 1555 a la 1545 aproximadamente, con una longitud de 15 m, lo que corresponde a un área aproximada de 150 m².

En el sitio existen tres sistemas de discontinuidades bien definidas como lo es la estratificación, el sistema de fracturamiento NW y el correspondiente, debido al relajamiento de las paredes del cantil. En esta zona han ocurrido desprendimiento debido a estas condiciones, por lo que se requiere de un soporte a base de anclaje para evitar que continúe el relajamiento de la roca.

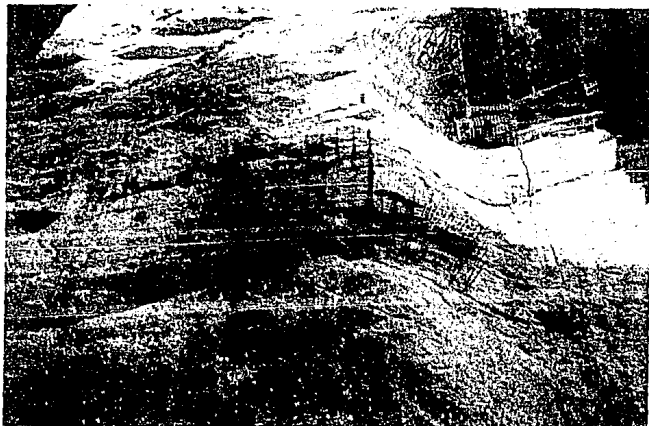
El soporte esta integrado por un anclaje de fricción con barras de acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, de 9.0 m de longitud dispuestos en un patrón de 2.0 x 2.5 m (vert. x hor.), inyectadas con mortero $f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$, en barrenos de 3" de diámetro. En su extremo final la barra debe tener una placa metálica de 20 x 20 cm x 1/2".

ZONA IV

Comprende dos áreas la IV.A que se localiza entre las cotas 1535 a la 1520 en un ancho de 10 m, con una superficie aproximada de 150 m^2 , la zona IV.B se encuentra entre las cotas 1510 a la 1490 en un ancho promedio de 15 m lo que corresponde a un área aproximada de 300 m^2 .

La parte superior se encuentra muy afectada por el fisuramiento de relajación de la roca, en donde incluso, se observa un desconchamiento de la roca en la zona donde intersecta con la excavación. En la parte inferior, la roca se encuentra limitada en sus extremos de arriba y de abajo por la excavación de una media caña y por el caído de mayor magnitud respectivamente. En este caso, ambas condiciones propician que un volumen de roca de aproximadamente 700 m^3 se considere potencialmente inestable.

El soporte considerado para ambos casos corresponda a un anclaje de fricción con barras de acero de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, de 12 m de longitud colocados en un patrón de 2.5 x 2.5 m inyectados con mortero de $f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ en barrenos de 3". El extremo final del ancla deberá contar con una placa de 20 x 20 cm x 1/2" de espesor.



ZONA V

Esta comprendida entre las cotas 1513 a la 1510 y corresponde a la excavación de la media caña que pasa por abajo del portal teórico de la galería 1517. Se considera un ancho de 18 m.

En esta zona se ejecuta un anclaje de fricción con barras de acero de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, de 12 m de longitud colocadas con un patrón de 1.5 x 2.0 m (ver x hor) inyectadas con mortero $f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ en barrenos de 3" de diámetro.

Adicionalmente, se efectuará la reposición con concreto de la media caña en una longitud mínima de 18.0 m, que tendrá un espesor promedio de 2.5 m con el cual se considerará un volumen de 150 m^3 . aprox. el extremo final del anclaje deberá contar con una placa de 20 x 20 cm x 1/2" de espesor la cual se apoyará sobre el concreto de reposición.



ZONA VI

Esta zona en particular comprende el volumen de roca que se desprendió entre las cotas 1490 y 1425 aproximadamente, con el cual se perdió parte del apoyo de la cortina entre los mismos niveles.

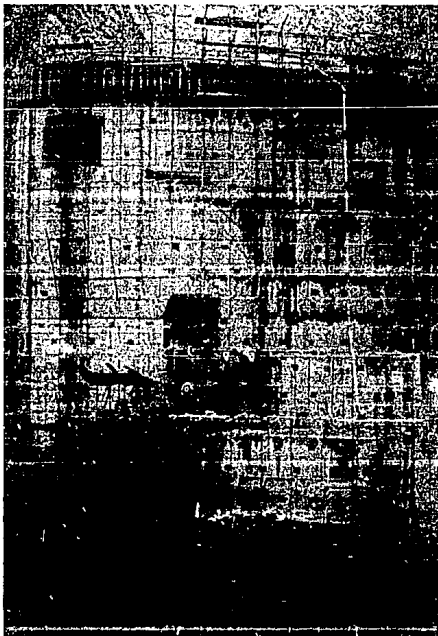
La superficie expuesta de la zona del caído muestra en forma clara la

existencia del plano de deslizamiento, el cual involucró una masa considerable de roca. Este plano de discontinuidad corresponde al de relajamiento de la roca siendo aun evidente su presencia en los bloques que se encuentran hacia aguas abajo.

El tratamiento considerado comprende un ancho de 20 m, el cual, se divide en un tramo de 15 m y otro de 5 m que se localiza adyacente a la zona de apoyo del arco.

En el tramo de 15 m se considera un anclaje postensado de 55 toneladas de precarga y 12 m de longitud con un patrón de 3.5 x 2.5 m (ver x long), el cual estará ligado en el sentido longitudinal mediante una trabe de concreto de 15 x 1.0 m.

El extremo de 5.0 m que se localiza junto a la zona de apoyo comprende la reposición con concreto armado de la zona de apoyo de la cortina o próximo a ésta. Esta reposición de concreto tendrá una continuidad en el sentido vertical estando desligado de las trabes en toda su longitud. En esta columna de reposición se colocaran anclas postensadas de 55 ton. de precarga, de 12 m de longitud en un patrón de 1.75 x 2.5 m (ver x long).



VOLUMENES DE OBRA

A continuación se indican los volúmenes de obra para cada una de las seis zonas consideradas.

ZONA	ELEVACION	ANCHO	AREA	No. ANC	TIPO DE ANCLA
I.A	1565-1540	15 m	375 m ²	80	DYWIDAG GRADO 150, 32 mm PRECARGA 55 TON, L=12M C/PLACA
I.B	1540-1495	15 m	675 m ²	144	FRICCION $f_y=4200$ kg/cm ² , 1 1/2" L=12m C/PLACA
II	1562-1535	15 m	40 m ²	65	DYWIDAG GRADO 150, 32mm PRECARGA 50 TON, CONCRETO 600m ³ (APROX)
III	1545-1535	15 m	150 m ²	30	FRICCION, $f_y=4200$ Kg/cm ² , 1 1/2" L=12m C/PLACA
IV.A	1535-1520	10 m	150 m ²	24	FRICCION, $f_y=4200$ Kg/cm ² , 1 1/2", L=12m C/PLACA
IV.B	1510-1490	15 m	300 m ²	48	FRICCION, $f_y=4200$ Kg/cm ² , 1 1/2", L=12m C/PLACA
V	1513-1510	18m	54m ²	18	FRICCION, $f_y=4200$ Kg/cm ² , 1 1/2", L=12m REPOSICION CON CONCRETO 150m ³
VI	1490-1425	15m	975m ²	171	DYWIDAG GRADO 150, 32mm, PRECARGA 55 TON, L=12m, REPOSICION CON CONCRETO 500 m ³ (APROX)

CARACTERISTICAS DE LAS ANCLAS

A continuación se describen algunos aspectos que deberán atenderse para los tipos de anclajes considerados.

ANCLAJE ACTIVO (POSTENSADO)

El concepto fundamental es el de lograr aumentar en forma inmediata la resistencia al esfuerzo cortante entre superficies de separación de fracturas o entre bloques de roca, presionando las capas entre si con anclajes postensados.

Las zonas de anclaje postensado obviamente, se deberán considerar como permanentes, para lo cual las barras tendrán que estar instaladas con los sistemas recomendados por el proveedor para cumplir con esta condición.

En la instalación de este tipo de anclaje se considera una longitud de tensión de la barra corresponderá también a dicha longitud.

Como una idea de lo que serían las etapas para su instalación se enlistan las siguientes actividades:

- Ejecución de barreno de 3" de diámetro con la longitud total de la barra, lavado y sopleteado del mismo.

- Instalación de la barra Diwidag con su vaina de protección y sus mangueras de inyección y purga.

- Calafateado de la boquilla del barreno e inyección de la longitud de adherencia. Se empleará mortero cemento-arena de $f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con una presión de 1 Kg/cm^2 .

- Retiro de mangueras de purga e inyección, armado y colado del dado o trabe de apoyo.

- Aplicación de la precarga y colocación de la placa y tuerca de sujeción.

- **Inyección del espacio anular entre barra de acero y vaina de protección contra corrosión.**

La operación de precarga se ejecutará cuando el concreto del dado o trabe de apoyo tengan al menos el 75% de su resistencia de proyecto, para lo cual, se considera un concreto $f_c=200 \text{ Kg/cm}^2$. Específicamente, la precarga se aplicará en forma controlada, para lo cual se recomiendan incrementos de carga de 10 ton. en intervalos de tiempo al menos de cada 10 minutos.

Un aspecto importante una vez instalados y posterior a la aplicación de la precarga, es el hecho de que el espacio anular entre la vaina de protección o encamisado y la propia barra se deberá de inyectar con el mismo mortero para garantizar su adecuada protección contra la corrosión.

ANCLAJE PASIVO (FRICCION)

Se considera que en este tipo de anclaje no deberán de existir problemas en su ejecución puesto que ha sido mediante anclas de fricción, la forma en que se viene estabilizando las zonas aledañas a la excavación para el apoyo del arco. La única diferencia consistirá en que una vez colocada e inyectada el ancla, se colocará con concreto un pequeño dado de apoyo para uniformizar debidamente el asiento de la placa para su fijación con tuerca.

Es necesario resaltar que el aspecto principal que deberá de vigilarse en este tipo de anclaje es el adecuado proceso de inyección, asegurándose que todo el carril de la barra este completamente relleno. Para la inyección se considera el empleo de un mortero cemento-arena de $f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ y presión de inyección de 1 Kg/cm^2 .

**CONSIDERACIONES SOBRE EL TRATAMIENTO
EN LA ZONA DEL CAIDO DE AGUAS ABAJO
(ELEVACION 1490-1425)**

En particular la zona entre las elevaciones 1490-1425 presenta una importancia especial debido a las condiciones geológico-estructurales que son bien evidentes y que a raíz del caído se ha tenido que adecuar el proyecto de los arcos en estas elevaciones.

De las inspecciones de campo con el auxilio de la grúa y balancin ha sido posible observar directamente sobre la superficie de deslizamiento, la gran cantidad de bloques que aún pueden ser retirados y la presencia de planos de fracturamiento paralelos al expuesto por el caído que se interna en la masa de roca con un continuidad en el sentido vertical por lo que se definen lajas o columnas de roca sobre las cuales no existe ningún soporte.

Es un hecho que la propia excavación contribuyó a que esta parte de roca, al parecer la más relajada, acelerará su proceso de degradación desde el punto de vista estructural. El nuevo límite en la roca para el apoyo de los arcos es una frontera incierta, ya que si se avalúa minuciosamente la condición de la roca sobre los puntos marcados topográficamente, se podrá constatar de que es necesario remover fragmentos o costras de roca hasta descubrir una condición de apoyo más real, de lo contrario, resultará inadmisibile que para la magnitud de los esfuerzos que transmitirán los arcos de acuerdo al proyecto actual, pudiera considerarse como un apoyo seguro.

La solución que debe aplicarse a esta zona comprende dos aspectos:

a) reforzar mediante un anclaje activo la zona para evitar el relajamiento y confinar la zona de influencia del apoyo.

b) construir un elemento estructural bajo el concepto de restitución de roca que ofrezca una continuidad en el apoyo de los arcos estando desligado estructuralmente de los mismos.

Se considera que un concreto de reposición en toda el área que involucra el caído no es estrictamente necesario salvo en la zona adyacente al apoyo con la idea expuesta en un confinamiento de la roca lo más pronto posible mediante el anclaje postensado.

TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

Además de los requerimientos estructurales ya citados en los puntos anteriores necesarios para la estabilidad del arco, existe también el concepto de seguridad durante la construcción, para lo cual se tendrá que considerar los siguientes aspectos.

RETIRO DE BLOQUES SUELTOS

Comprende los fragmentos de roca que son susceptibles de deslizar por peso propio y que se apoyan o apilan en pequeñas bermas o repisas, o bien que han sido creados por la propia excavación.

AMACIZES

Este es un trabajo continuo que debe involucrar preferentemente la zona de mayor movimiento dentro del cañón como lo es el propio recinto del arco.

Los trabajos de amacizes se deben realizar con el cuidado de no remover más de lo indispensable en ambas márgenes para no crear una condición más insegura a corto plazo.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para poder realizar los trabajos del tratamiento en laderas, se tubo que construir un acceso a dicha zona, tanto aguas arriba como aguas abajo de la cortina. Dicho acceso se realizo con andamios tipo Dalmine, que consta de tubos de acero y abrazaderas de diferentes tipos como son las de extensión, ortogonales y las giratorias. Como la zona no es muy accesible, ya que son paredes casi verticales las que conforman los apoyos de la cortina, hubo que contratar a varios alpinistas para que se pudiera desplantar dicho andamio, para lo cual se contó con el equipo de alpinismo, así como de el equipo de barrenación y la herramienta necesaria para armar andamio, como son llaves de tuercas, poleas y cuerdas para ir bajando la tubería y las abrazaderas. La forma en que se arma el andamio es de la siguiente manera se debe hacer barrenaciones de 3" de diámetro con un ángulo de 60° con respecto a la horizontal y una profundidad de 1.5 metros, de acuerdo a un patrón ya establecido, que en este caso era de 2.7 x 2.7 metros, en las perforaciones se debe meter una varilla de 2½" acoplada con la tubería de andamio, tanto la varilla como el tubo empotrado a la roca van a ser el apoyo de todo el andamio, es por esto que se tenía un control muy estricto en la construcción de dicho andamio, lo anterior para evitar todo tipo de accidentes que pudieran retrasar los trabajos del tratamiento.

Una vez colocada la tubería de apoyo de un nivel se procede a armar módulo por módulo, dicho nivel con tubería larga y las abrazaderas dejando extensiones verticales para poder apoyar y armar el siguiente nivel, repitiéndose este procedimiento hasta llegar a la cota determinada donde se va a trabajar, para después colocar malla ciclonica en las fronteras del andamio, así como tablonen en las zonas a trabajar.

Cuando se termino la construcción del andamio se procedió a realizar la barrenación, siguiendo el patrón de 2.5 x 2.5 mts determinado por el departamento de mecánica de rocas de CFE y 12 mts de profundidad con una inclinación aproximada de 10° con respecto a la horizontal.

Debido al alto riesgo que presentan estos trabajos, la barrenación se realizó a un ritmo muy lento, llegando a hacer cuando mucho uno o uno y medio barrenos por turno, cuando en otras condiciones se hacen hasta 10 barrenos de las mismas características por turno.

Concluidas las primeras barrenaciones una cuadrilla se dedicaba a ir preparando las anclas, es decir colocar la tubería de inyección y de purga: 3/4" y 1/4" de diámetro respectivamente pegadas con cinta adhesiva en la ancla, para posteriormente trasladarla y bajarla hasta la cota donde va a ser colocada.

A las anclas Dywidag a demás de las tuberías de purga e inyección se les encamisa la parte del ancla que se va a tensar posterior a la inyección.

Después que se colocan las anclas en los barrenos previamente lavados y sopleteados con agua y aire a presión, para evitar residuos de la barrenación, que impidan la adherencia del mortero con la roca y el ancla se procede a calafatear, para que después de por lo menos 12 hrs se proceda a la inyección del ancla. Las anclas se inyectan hasta lograr mantener una presión de por lo menos 1 Kg/cm² durante 2 minutos. Para estos trabajos se contaba con una mezcladora eléctrica, una mezcladora de bajar revoluciones (manual) una bomba manual Hanny y los suficientes metros de manguera para poder llegar al ancla en cuestión.

Una vez inyectada el ancla se procede a colocar la placa correspondiente junto con su tuerca. Si el ancla es Dywidag tenía que esperar 40 días para poder aplicar las 50 ton de tensión, ya que de no ser así el ancla podría zafarse y con esto retrasar el tratamiento, ya que se tendría que rebarrenar, limpiar el ancla o colocar otra, volver a inyectar y esperar 40 días para volver a aplicar la tensión.

Con respecto a la reposición de roca a base de concreto que comprende a las

zonas V y VI que va de las elevaciones 1513 a 1425 la forma en que se fue trabajando para realizar dichos trabajos fue de la manera siguiente:

a) Se construyó un andamio que va desde el lecho del río (elevación 1373) hasta la elevación 1421 en forma de torre, teniendo como acceso a la zona de trabajos escaleras acopladas a la misma torre, es decir conforme se iba construyendo la torre se le iban acoplando las escaleras hechas de la misma tubería con la que fue hecho el andamio.

Esta torre además de servir como acceso servirá para soportar una bomba de concreto Putmaizer, que es con la que se van a realizar los colados para la reposición de roca, la bomba se ubicará en la elevación 1415, que es donde se va a arrancar el colado.

b) Se procede a colocar la bomba en la torre de andamio Dalmine ayudados con la grúa STAC debido a el gran peso de la bomba y el desnivel que existe entre la corona de la cortina y el lugar donde se va a colocar la bomba.

c) Se inician los trabajos de cimbrado a todo lo ancho del muro y a una altura de 2.4 mts, esto con cimbra ya preparada especialmente para a este trabajo. Dentro de los trabajos de cimbrado, se realizaba una actividad que consistía en dejar las preparaciones a base de tubería de PVC de 3" de diámetro con longitud variable, dependiendo del espesor del muro y a 10° de inclinación descendente. En la frontera de la cimbra con el tubo se colocaba una caja en forma piramidal esto con el fin de dejar la ubicación precisa del anclaje, para que después de los primeros colados se inicien los trabajos de perforación y anclaje teniendo en cuenta el patrón a seguir para dicho anclaje.

d) Se realiza el armado con acero de refuerzo de 1/2" de diámetro con una separación de 20 cm en ambos sentidos, dejando las preparaciones para el siguiente colado o rematando si dicho colado es el último.

e) Posteriormente se procede a acoplar la tubería que va de la bomba a la zona del colado para poder empezar el colado.

f) Una vez liberado el tramo por los 3 departamentos que conforman a la supervisión (topografía, residencia civil y control de calidad de concretos) se procede al colado cuidando que las propiedades del concreto no se pierdan (exceso de sagrado, segregación, contaminación, etc.) así hasta terminar el colado de el tramo en cuestión.

g) Terminado el colado se realiza el tratamiento de junta en verde que consiste en retirar la lechada (agua cemento) en la parte superficial del piso del colado para que el siguiente colado tenga liga con el anterior. Lo anterior se realiza después de 3 Hr de haber concluido el colado.

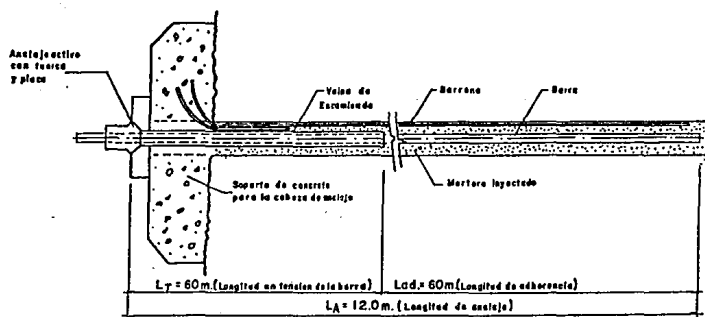
h) De acuerdo como marcan las especificaciones después de 24 hrs se puede iniciar el descimbrado para poder realizar el siguiente colado.

i) Al pasar el tiempo en que el concreto alcanza su resistencia a la que fue diseñado (28 días) se inician los trabajos de anclaje (perforación, colocación de ancla, inyección, colocación de placa y tuerca y protección de estas últimas con mortero rellenando los espacios de la caja que quedo al realizar el colado), para así finalizar los trabajos de estabilización de esta zona.

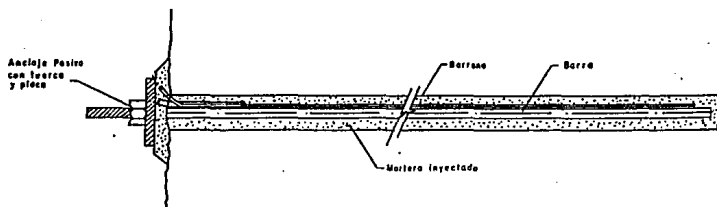
Como en todas las obras o estructuras de concreto se le realizaron pruebas durante y después de cada colado como son pruebas de revenimiento, así como el fabricar cilindros del tipo estándar para poder realizar pruebas de comprensión en el laboratorio, esto con el fin de garantizar la buena calidad del concreto que se coloca en todos los trabajos de la zona Boquilla del Presa Hidroeléctrica Zimapan.

ESQUEMAS DE CARACTERÍSTICAS DE LOS ANCLAJES

CARACTERISTICAS DE LOS ANCLAJES



4.a: ANCLAJE ACTIVO (POSTENSADO)



4.b: ANCLAJE PASIVO (FRICION)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se puede concluir lo siguiente con respecto a los diferentes usos que se le han aplicado al concreto en la zona Boquilla del P.H. Zimapán, y que se podrían aplicar en forma similar a otros proyectos de la misma índole.

En concretos masivos como son los de la cortina se debe contar con el equipo apropiado para el transporte, colocación, vibrado, curado y muy en especial tener un control estricto en lo que se refiere al calor de hidratación que se genera en concreto de gran masa, ya que de no ser así se podrían tener grandes problemas con las dilataciones que se generan con las altas temperaturas creadas por la reacción química al mezclar el cemento con el agua.

Así mismo se debe cuidar en no crear choques térmicos ya que éstos también podrían traer problemas masivos, debido a que se intentan bajar de temperatura en tiempos cortos.

En concretos semi-masivos como son los de las galerías se debe poner especial cuidado en el vibrado ya que por su difícil acceso este trabajo se

complica y de no realizarlo debidamente se pueden dejar huecos que debilitarían la estructura y no trabajaría adecuadamente.

En este tipo de obras suelen surgir imprevistos o trabajos que no se tienen contemplados en el momento de proyectarlos, uno de esos imprevistos fueron los trabajos que se tuvieron que realizar para la protección y confinamiento de bloques que quedaron inestables o en equilibrio al límite, donde el concreto y el anclaje fueron una buena solución.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mena F. Manuel.
Concreto para la construcción de la cortina.
C.F.E. Febrero 1992.
2. Mena F. Manuel.
Procedimiento para verificar la resistencia del concreto de la cortina del P.H.
Zimapán, Hgo.
C.F.E. Febrero 1992.
3. Gómez T. Carlos.
Cortina P.H. Zimapán.
C.F.E. Febrero 1992.
4. Lombardi.
Nota Técnica 704-7-R-1
Mayo 1992.
5. Rendón H. Javier.
Zonificación de Tratamientos Margen Derecha.
C.F.E. Septiembre 1992.

6. Gómez T. Carlos.

Control de calidad de los concretos del P.H. Zimapán.

C.F.E. Diciembre 1992.

7. Rendón H. Javier.

Tratamiento de la Roca.

C.F.E. Diciembre 1992.

8. Romero Jacobo y Custodio R. Ernesto.

Procedimiento de control de post-Enfriamiento del concreto en la cortina.

DIRAC S.A. de C.V.

Mayo 1993.